

Tomi Mäentausta

Sähkösuunnittelun vaikutus nosturin luotettavuuteen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

4.4.2017

Tekijä Otsikko	Tomi Mäentausta Sähkösuunnittelun vaikutus nosturin luotettavuuteen
Sivumäärä Aika	39 sivua 4.4.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	Lehtori Osmo Massinen Tekniikan tohtori Kirsi Saarinen-Pulli
<p>Tutkittua tietoa sähkösuunnittelun vaikutuksesta nosturin luotettavuuteen ei ole saatavilla. Oppinäytetyön tarkoituksena oli tutkia, miten sähkösuunnittelulla ja työkoneen suunnitteluvaiheen komponenttivalinnoilla voidaan vaikuttaa koko työkoneen elinkaaren luotettavuuteen ja miten tämän työn löydöksiä voitaisiin hyödyntää kohdeyrityksen tuotteissa. Työ tehtiin kvalitatiivisena tutkimuksena vertaillen sähkösuunnitteluratkaisuja ja hyödyntäen aikaisemman tutkimuksen tilastoja, jotka perustuivat kohdeyrityksen huoltotietokantoihin.</p> <p>Työssä käytiin läpi nosturin ja luotettavuuden määritelmä sekä työkoneen tai nosturin sähkösuunnitteluun liittyviä yleisiä huomioita suunnitteluvaiheen komponenttivalintoihin. Lisäksi käytiin joitain työn kannalta oleellisia nosturin sähkösuunnittelua tai lopputuotetta koskevia määräyksiä sekä komponenttien vikamuotoja ja niihin liittyviä rasitustekijöitä.</p> <p>Tutkimuksessa vertailtiin systemaattisesti tilastollisen analyysin pohjalta valittujen neljän eri valmistaja suunnitteluratkaisuja sekä analysoitiin eri suunnitteluratkaisujen vaikutusta komponenttien vikaantumisiin. Suunnitteluvierailussa huomattuja eroja verrattiin tilastosta jalostettuihin suhteellisiin vikaantumislukuihin.</p> <p>Tuloksena työstä syntyi kohdeyritykselle käsitys sähkösuunnittelun ja komponenttivalintojen vaikutuksesta nosturin luotettavuuteen. Työn tulokset olivat arvokasta tietoa kohdeyritykselle.</p>	
Avainsanat	Sähkösuunnittelu, luotettavuus, komponenttivalinnat, nosturi

Author Title	Tomi Mäentausta Effects of Electrical Design for Crane Reliability
Number of Pages Date	39 pages 4 April 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructors	Osmo Massinen, Senior Lecturer M.Sc. Kirsi Saarinen-Pulli, D.Sc.
<p>The effect of an electrical design on reliability has not been studied earlier. The purpose of this thesis was to investigate how the reliability of a product could be improved with the electrical design and component choices and to find out ways to improve the products of the target company. The study was made as a qualitative research with help of a separate statistical study of the company's service data.</p> <p>This thesis presents the definition of the crane and reliability, and the basics of designing phase and component selections while designing machines or cranes. Also, the essential directives and standards are presented in this thesis work, as well as the failure modes and stress factors of the electrical components.</p> <p>In this study, the electrical solutions of four manufacturers were studied and compared to their reliability statistics. Those four individual design solutions were systematically compared to each other and it was tried to find out differences and equalities between fault numbers and solutions.</p> <p>As a result, this thesis work produced information for the target company about the effect of the electrical design and component selection for the reliability. The results were valuable information for the target company.</p>	
Keywords	Electrical design, reliability, component, crane

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Nosturi nostolaitteena	4
2.1	Nosturi	4
2.2	Nosturin sähkölaitteet	6
3	Luotettavuus	7
3.1	Luotettavuuden mittaaminen	8
3.2	Sähkökomponenttien vikaantuminen	9
3.3	Tyypilliset vikamuodot	9
4	Nosturin sähkösuunnittelu	11
4.1	Konedirektiivit ja standardit	12
4.1.1	Koneturvallisuus	14
4.1.2	Ohjauslaitteet ja -järjestelmät	14
4.2	Komponenttien rasitukset	16
4.2.1	Lämpötilat	16
4.2.2	Virta ja jännite	17
4.2.3	Ylikuormitus ja transientit	18
4.2.4	Sähkömagneettinen yhteensopivuus	19
4.3	Rasitukset kaapeleissa ja eristyksissä	19
4.4	Ulkoiset rasitustekijät	20
5	Suunnitteluratkaisujen vertailu	21
5.1	Tietojen luotettavuus	21
5.2	Huoltotietoanalyysit	21
5.3	Käytetyt komponentit	22
5.3.1	Ohjauskontaktorit	22
5.3.2	Nostojarrun ohjaus	24
5.3.3	Radio-ohjain	26
5.3.4	Painikeohjain	28
5.3.5	Kunnonvalvontayksiköt ja ylikuormasuojaus	29
6	Tulokset	31

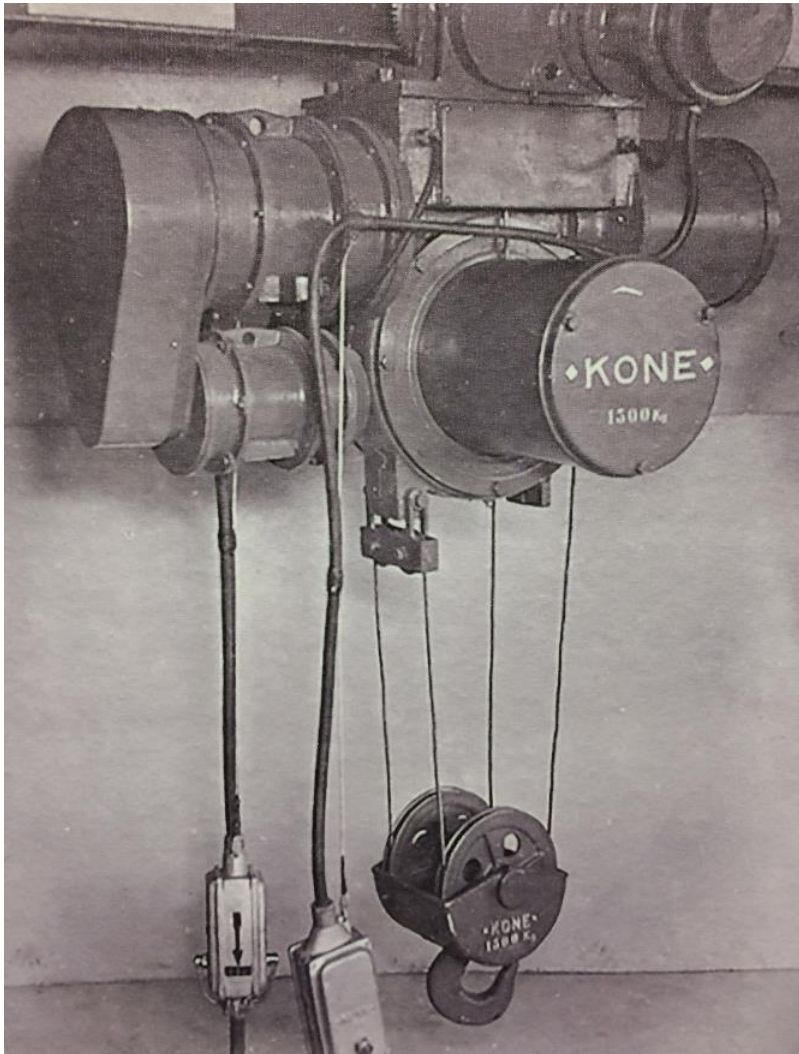
6.1	Luotettavuus	31
6.2	Vikamekanismit	32
7	Yhteenveto	38
	Lähteet	39

Lyhenteet

CENELEC	<i>European Committee for Electrotechnical Standardization</i> . Eurooppalainen sähkötekniikan standardoimiskomitea.
EMC	<i>Electromagnetic Compatibility</i> . Sähkömagneettinen yhteensopivuus.
EMI	<i>Electromagnetic Interference</i> . Sähkömagneettiset häiriöt.
EN	<i>European Standards</i> . Euroopan laajuiset standardit.
ESD	<i>Electrostatic Discharge</i> . Sähköstaattinen purkaus.
FMEA	<i>Failure Modes and Effects Analysis</i> . Vika- ja vaikutusanalyysi.
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i> . Kansainvälinen sähkötekniikan standardointiorganisaatio.
MTBF	<i>Mean Time Between Failures</i> . Keskimääräinen aika vikaantumiseen.
MTTR	<i>Mean Time To Repair</i> . Laitteen keskimääräinen korjausaika.
NEMA	<i>National Electrical Manufacturers Association</i> . Kansallinen sähkölaitevalmistajien järjestö.
SFS	<i>Finnish Standard Association</i> . Suomen standardisoimisliitto.
VDE	<i>Verband Deutscher Elektrotechniker</i> . Saksalainen sähköinsinööritekniikan järjestö.

1 Johdanto

Nosturi on kone, joka on suunniteltu nostamaan, laskemaan ja siirtämään raskaita taakkoja. Suomessa sähkökäyttöisiä nostureita on valmistettu jo 1930-luvulta asti (kuva 1). [1.] Nosturin rakenteeseen perustuen erilaisia perusnosturityyppejä ovat siltanosturit, pukkinosturit, kääntöpuominosturit, torninosturit ja autonosturit. [2, s.13.] Tässä työssä käsitellään nosturissa nostotyötä tekevän nostimen sähkösuunnittelua. Työn tarkoitus on tutkia sähkösuunnittelun vaikutusta nosturin luotettavuuteen. Käyttäjän näkökulmasta nosturista puhutaan kokonaisuutena, jonka hyvin tärkeänä osana ja taakan pystysuuntaisen liikkeen mahdollistavana itse nostin toimii.



Kuva 1. Sähkökäyttöinen nostin 1930-luvulla. [3.]

Työn tarkoitus on tutkia ja selvittää, minkälainen vaikutus erilaisilla sähkösuunnitteluratkaisuilla ja komponenttivalinnoilla on nostimen luotettavuuteen. Tutkimus tehdään vertailemalla eri nosturivalmistajien nostimien luotettavuutta ja sähkösuunnitteluratkaisuja keskenään. Tutkimuksen tulokset auttavat kohdeyritystä ymmärtämään, miten erilaiset suunnitteluratkaisut vaikuttavat tuotteen luotettavuuteen.

Suunnittelun tärkeys tuotteiden turvallisuuteen ja luotettavuuteen on selvä valmistajan ja käyttäjän näkökulmasta. Samalla tarve tuotteen optimoimiseen on selvää, jotta ei tehdä ylimitoitettua ja kallista ratkaisua sopivan ja edullisemman sijaan. Tämä liittyy kilpailukyvyn säilyttämiseen ja tuottavuuteen, mutta on myös tuotteen, tässä tapauksessa työko-
neen, turvallisuuteen ja toimintavarmuuteen liittyvä erittäin tärkeä asia.

Tutkimuksen aihe on tärkeä, sillä nykyaikainen teollisuuden kilpailu on haastavaa ja kuitenkin samalla koneiden turvallisuutta kehitetään ja parannetaan jatkuvasti. Lisäksi laatu ja luotettavuus ovat myynnin kannalta tärkeitä asioita. Tämän vuoksi koneen luotettavuutta ja laatua on tutkittava ja varmennettava myös jatkuvasti. Tämä työ tukee kohdeyrityksen luotettavuussuunnittelun kehitystä. Työ on osa laajempaa kehitysprojektia ja kohdeyrityksen kannalta hyvin ajankohtainen.

Tavoitteet ja tutkimusongelma

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia, millainen vaikutus sähkösuunnittelulla ja sähkökomponenttien valinnalla on nosturin luotettavuuteen ja kuinka luotettavuutta voidaan edelleen kehittää tarpeen mukaan, perustuen tämän tutkimuksen tuloksiin. Tutkimuksen tavoitteena on tarkastella useampien valmistajien sähkösuunnittelun ratkaisumalleja ja saada yleisesti käsitys suunnittelun vaikutuksesta.

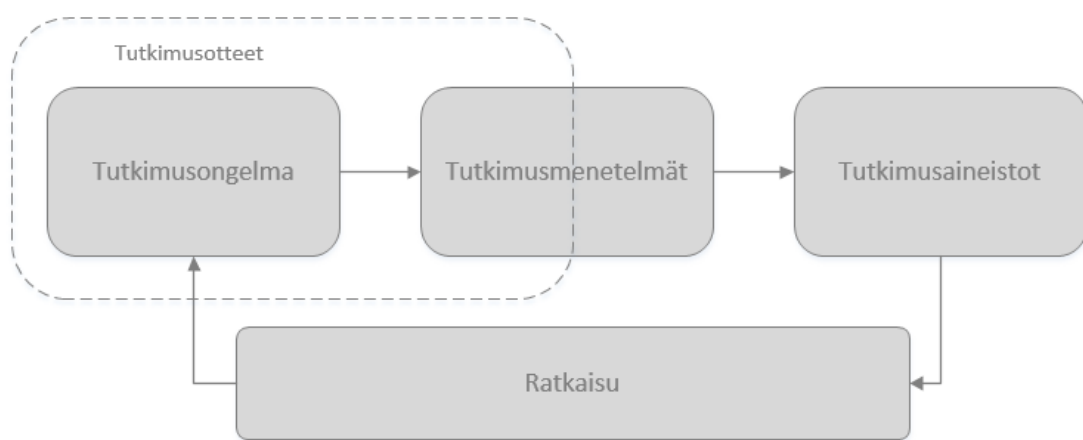
Työssä pyritään löytämään vastauksia seuraaviin tutkimuskysymyksiin. Mitkä nostimen sähkökomponentit vikaantuvat tyypillisesti? Mistä syistä vikaantumisia tapahtuu? Millaisilla sähkösuunnitteluratkaisuilla vikaantumisia voisi estää tai vähentää?

Työn aiheen rajausta ja tutkimuksen rakenne

Työssä keskitytään neljän vertailukelpoisen teollisuuskäyttöön suunnitellun nostimen vertailuun. Tarkempaan tarkasteluun työssä valitaan vikaantumistilastojen perusteella

muutamia eniten vikaantuvia ja nostimen toiminnan kannalta tärkeitä komponentteja tai osa-alueita.

Tutkimus noudattaa kvalitatiivisen eli laadullisen tutkimuksen muotoa ja kuvassa 2 nähtävää kvalitatiivisen tutkimuksen prosessia. [4, s. 20.] Tutkimusaineistona tässä opinnäytetyössä käytetään eri sähkösuunnitteluratkaisujen dokumentaatiota ja lisäksi hyödynnetään valmiiksi kerättyä huoltotietoa, jonka avulla sähkökomponenttien vikaantumisia käsitellään tilastollisesti. Näiden avulla voidaan vertailla vertailukelpoisia osa-alueita, kuten moottorin ohjausta ja tutkia vikaantumistilastojen osoittamia eroja.



Kuva 2. Tutkimuksen rakenne. [4, s. 20.]

Tutkimuksen lähtötietoina oli kerätyt huoltotiedot neljän valmistajan nostimista sekä niiden pohjalta tehty статистиikka jokaisen tutkittavan valmistajan nostimen vikaantumisista. Tilastosta valittiin tähän opinnäytetyön tutkimukseen neljä kohdeyritystä kiinnostavinta komponenttia lähempään tarkasteluun. Tutkittavia valmistajia esitetään vertailun ja tietosuojan vuoksi kuvitteellisilla nimillä Okra, Siena, Umbra ja Ruskea. Vikaantumisten syitä yritettiin selvittää tämän tutkimuksen avulla. Lisäksi yhtenä työn tavoitteena on tunnistaa jatkotutkimustarpeet ja -kohteet.

2 Nosturi nostolaitteena

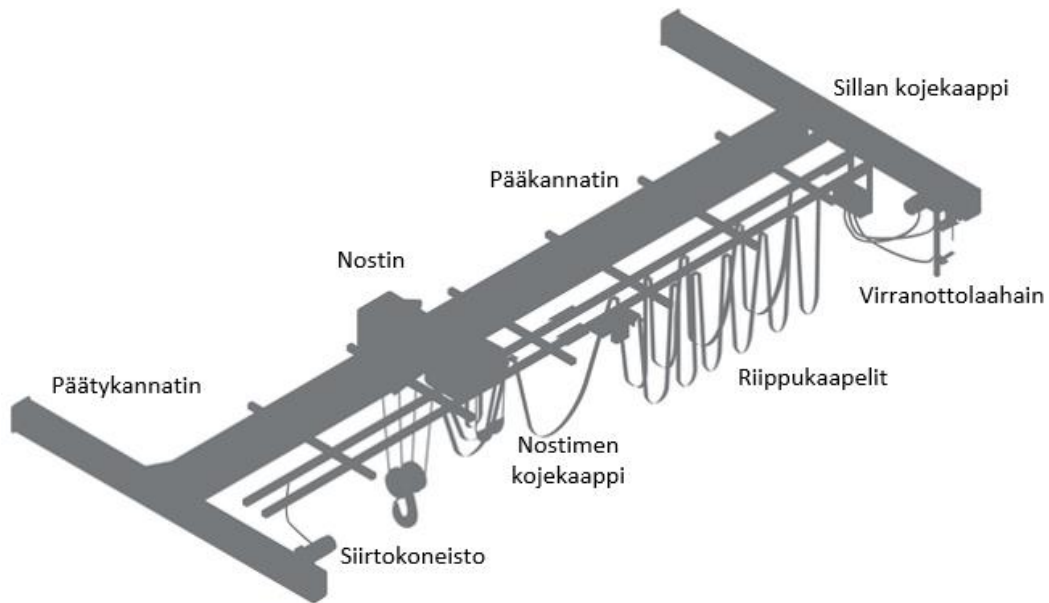
Luvussa käydään läpi nosturin määritelmä sekä työn kannalta oleellisempina osana nostimen sähkölaitteiden esittäminen. Nosturissa tyypillisesti sähkölaitteita on sijoitettu useampaan paikkaan. Tämän työn tutkimuksen kohteena on nostimen eli taakan pystyliikkeen toteuttava nosturin osa, joka sisältää erilaisia ohjaus-, turva- ja valvontalaitteita. Työssä verrataan tarkemmin nostoköyden avulla kuormaa liikuttavan nostinten erilaisia sähkösuunnitteluratkaisuja sekä niiden vaikutusta sähkökomponenttien vikaantumiseen ja sitä kautta luotettavuuteen.

2.1 Nosturi

Valtioneuvoston päätöksessä määritellään nosturi konekäyttöiseksi laitteeksi, jolla voidaan nostaa, laskea ja siirtää kuormaa ja sitä liikutetaan nostoköyden, -ketjun tai muun vastaavan rakenteen avulla. Nosturiksi tulkitaan myös sellainen nostolaite, joka rajoittaa kuorman heiluntaa nosturin mukana siirtyvillä laitteilla. Määritelmä ei kuitenkaan koske sellaisia nostureita, joiden enimmäiskuorma on korkeintaan 500 kg. [5, 6 §.]

Nostureita käytetään monessa eri ympäristössä ja käyttöolosuhteissa ja niitä voidaan jakaa eri kategorioihin. Tämän työn kannalta pääasialliset kategoriat ovat teollisuus- ja prosessinosturit, joissa käytetään tyypillisesti köysinostinta. Nosturien ympäristö- ja käyttöolosuhteet vaihtelevat paljon. Nosturi voi olla huoneenlämpöisessä tehdashallissa, alle nollan asteen ulkoilmassa tai jopa lämpimässä kaivoksessa korkeassa kosteuspitoisuudessa. [1.]

Teollisuus- ja prosessinosturin ovat tyypillisesti siltanostureita, jollainen esitetään kuvassa 3. Nosturia liikutetaan ohjaus- tai hallintalaitteella, joka yksinkertaisimmillaan voi olla radio- tai riippuohjain. Siltanosturissa pääkannattaja kulkee päätykannattajien avulla nosturiradalla. Pääkannattajassa voi olla yksi tai useampi nostin. Yksi nosturi voi käsittää myös useamman pääkannattajan ja päätykannattajan. Nostin on tyypillisesti nostovau-
nukokonaisuus, jota liikutetaan sillan suuntaisesti siirtokoneiston avulla. [1.]



Kuva 3. Sähkölaitteiden sijoitteluperiaate siltanosturissa. [1.]

Sillansiirron ja nostovau-
nun vaakasuuntainen liike toteutetaan tyypillisesti sähkömoottoreiden avulla ja usein ne liitetään vaihteistoon, jolloin puhutaan koneistosta. Painavia taakkoja liikuteltaessa sähkömoottorin momenttivaatimus olisi suuri ilman vaihteistoa ja sen vuoksi usein riittämätön sellaisenaan. Liikkeen muutostilanteisiin liittyy myös taakan ja rakenteiden hitausmassamomentti, jota saadaan pienennettyä välityssuhteilla neliöllisesti. [1.]

Nostimeen kuuluu taakan nostoon tarkoitettu nostokoukku ja -köysi, jota liikutetaan pystysuunnassa nostokoneistolla. Jarru on tärkeä sähkömekaaninen komponentti kuorman hallinnassa. Jarru sijoitetaan tyypillisesti moottorin roottoriakselille, jolloin sen momenttivaatimukset saadaan pienemmiksi. Nostimen jarrua käsitellään tarkemmin myöhemmin tässä työssä. [1.]

2.2 Nosturin sähkölaitteet

Nosturissa sähkölaitteet asennetaan kojekaappeihin ja niiden sijoittelu on tyypillisesti lähellä kunkin toteuttavaa toimintoa. Sähkönsaannin kannalta tärkeä osa on nosturin tehonsyöttö, joka tyypillisesti tulee nosturin ulkopuolelta. Liikkuvalle siltanosturille sähköteho tyypillisesti toteutetaan virtakiskojen ja laahaimien avulla. Pää- tai päätykannattajassa sijaitsevassa kojekaapissa sähkönsyöttö jaetaan nosturin muille toiminnoille, kuten sillan siirtokoneistolle ja nostimelle. [1.]

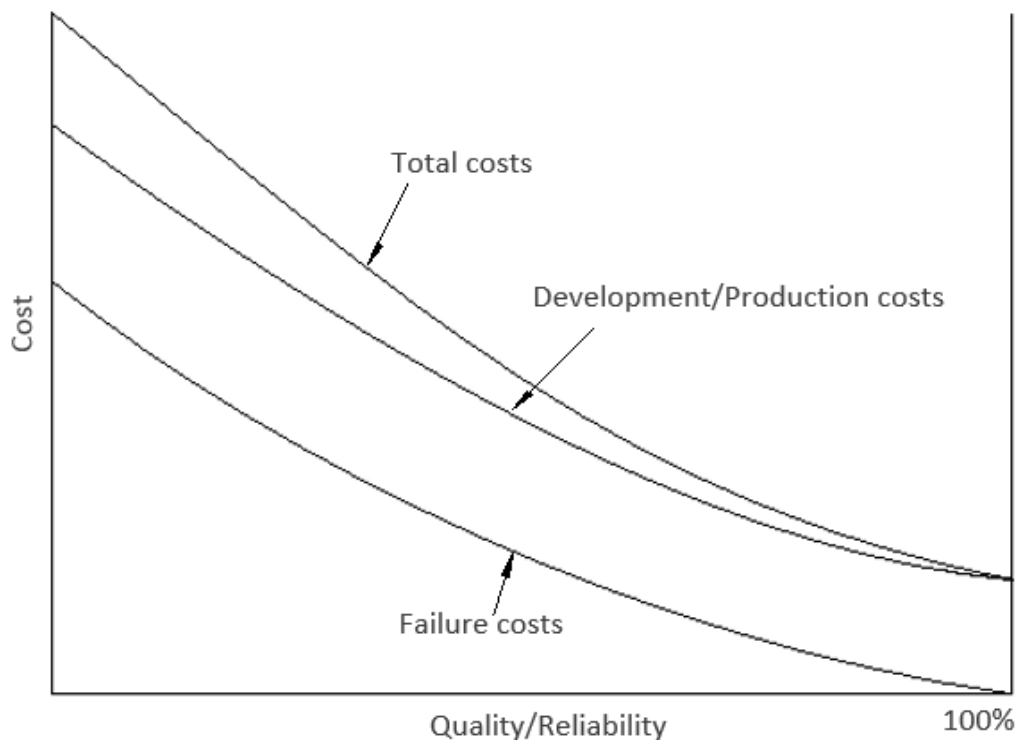
Niin sillansiirron kuin myös noston liike voidaan toteuttaa taajuusmuuttajaohjauksella tai suoralla suunnanvaihtokontaktorikytkennällä. Tämän työn tarkasteluun kuuluvat vain suunnanvaihtokontaktorikytkennällä toteutetut nostimet. Taajuusmuuttajakäytöt mahdollistavat tarkemman ohjauksen, joka säästää myös mekaniikkaa sekä noston jarrua, mutta on kustannukseltaan hieman kalliimpi vaihtoehto. [1; 6.]

Ohjauselektroniikka on yleistynyt nostureissa tekniikan kehittyessä ja hintojen laskiessa. Nykyään pelkistetyimpiinkin nostureihin integroidaan pientä ohjauslogiikkaa sekä erilaisia kunnonvalvontayksiköitä. Yksinkertainen ohjelmoitava logiikka mahdollistaa suunnanvaihtokontaktorikytkentäisten ohjausten hienosäätöä, esimerkiksi hallitun lähtö- ja pysäytystoiminnon kyseessä olevissa kaksinopeissa nosturiratkaisuissa. Kunnonvalvontayksiköt voivat usein valvoa kuormaa reaaliajassa ja estää esimerkiksi liian suuren kuorman nostamisen katkaisten nostokäskyn ohjauksen. Tällaiset laitteet lisäävät huomattavasti nosturin turvallisuutta ja mahdollisesti myös käyttömukavuutta. [6.]

3 Luotettavuus

Luotettavuudesta on useita määritelmiä. Useimmin käytetyissä se tarkoittaa todennäköisyyttä sille, että laite toimii määritellysti ja vikaantumatta sille määritetyissä olosuhteissa määrätyn ajan, mutta luotettavuutta voidaan ilmaista myös vikaantumisten määränä tietyssä ajan jaksossa. [7, s. 1.]

Minkä tahansa tuotteen luotettavuus tarkoittaa keskivertokuluttajalle käytännössä ongelmien vähyyttä, mutta yrityksille kuitenkin luotettavuus liittyy asiakastyytyväisyyden lisäksi vahvasti kustannuksiin. Tuotteen valmistajan näkökulmasta takuuaikaiset vikaantumiset aiheuttavat valmistajalle ylimääräisiä kustannuksia. Kuva 4 havainnollistaa luotettavuuden vaikutusta tuotteen elinkaarikustannuksiin. Valmistajan näkökulmasta on edullisinta tasapainottaa nosturin laatu ja käyttöikä, jotta se toimii luotettavasti koko elinkaaren ajan. [6.]



Kuva 4. Luotettavuus/laatu ja elinkaarikustannukset. [7, s. 15.]

Takuuaikana asiakkaalla on oltava laki suojanaan tuotteen laadukkuudesta sekä kohtuullinen varmuus sen toiminnasta tietyn ajan. Asiakas ei kuitenkaan voi asialle mitään, jos tuote vikaantuu useammankin kerran ja valmistaja korjaa sen asianmukaisesti. Usein vikaantuvan tuotteen valmistajalle aiheutuu tällöin paljon kustannuksia ja asiakkaalle

siitä haittaa. Pahimmillaan nosturinkuljettaja menettää kuormanhallinnan ja kuorman liike vaarantaa lähialueen. Takuuajan ulkopuolella tapahtuvista vikaantumisista haittaa aiheutuu vain asiakkaalle, mutta kuitenkin kyseisen tuotteen valmistajan maine tahriintuu ja voi haitata tulevia liiketoimia. Tämä voi tarkoittaa silloin nosturivalmistajalle asiakkaiden siirtymistä kilpailevalle valmistajalle. [7, s. 1.]

Luotettavuus on yläkäsite, joka pitää sisällään toimintavarmuuden, kunnossapidettävyyden ja kunnossapitovarmuuden. Läheisesti luotettavuuteen liittyy myös käytettävyyys ja turvallisuus. Elinikä on erityinen luotettavuuden muoto, joka liittyy kykyyn kestää ajan, kuljetun matkan tai käyttösykliä tuomia vaikutuksia, kuten väsymistä, kulumista, korroosiota tai muita esimerkiksi sähköisten arvojen muuttumisia. Elinikä esitetään normaalisti vähimmäisaikana ennen kuin kulumisesta aiheutunut vikaantuminen tapahtuu. [7, s. 1—2.]

3.1 Luotettavuuden mittaaminen

Luotettavuutta voidaan arvioida monella eri tapaa, mutta yleisesti luotettavuus tarkoittaa vikaantumisen todennäköisyyttä tietyssä ajassa. Lisäksi luotettavuus vaikuttaa vahvasti käytettävyyteen, jonka nosturin käyttäjä käytännössä kokee. Käytettävyyys voidaan laskea luotettavuuden ja kunnossapidettävyyden arvoilla kaavasta 1, jossa MTBF on keskimääräinen aika laitteen vikaantumiseen ja MTTR keskimääräinen korjausaika. [7, s. 12; 6.]

$$Käytettävyyys = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \quad (1)$$

Tilastot ja matematiikka ovat hyviä työkaluja, kun määritetään luotettavuutta. Osaaminen ja kokemus ovat eduksi luotettavuuden analysoinnissa, koska on hyvä tuntee tuotteen elinkaaren alueita, kuten tuotekehitys, suunnittelu, valmistus ja huolto. Luotettavuudessa on siis kyse muustakin. [7, s. 12; 6.]

3.2 Sähkökomponenttien vikaantuminen

On olemassa muutamia asioita, joita suunnittelijan on pohdittava ennen kuin aloittaa suunnittelemaan tuotetta. Ensinnäkin sähköiset rasitukset, jotka useimmiten johtavat yllämpenemiseen ja muuhun ylikuormitukseen käytön aikana. Toisena asiana tulisi ottaa huomioon mahdolliset komponenteissa tapahtuvat muutokset ja arvojen vaeltamiset, että ne pysyisivät vaadituissa toimintarajoissa. Lisäksi on huomioitava, että laite olisi häiriöille mahdollisimman immuuni. Viimeisenä, mutta sitäkin tärkeämpänä asiana tuotteessa olisi huomioitava sen valmistettavuus ja huollettavuus. [7, s. 245—246.]

Sähkökomponenttien vikaantuminen täytyy pitää mielessä. Tyypillinen vikamuoto sähkökomponenteilla on ylikuormituksesta aiheutunut hajoaminen tai kuluminen. Yleensä sähkökomponenttien vikaantuminen aiheutuu lämmöstä, kosteudesta, värinästä tai sähkömagneettisista häiriöistä. Lämpö on näistä merkittävin ja tyypillisesti sen aiheuttaja on sähkövirta, joka synnyttää tehoa. [7, s. 229.]

3.3 Tyypilliset vikamuodot

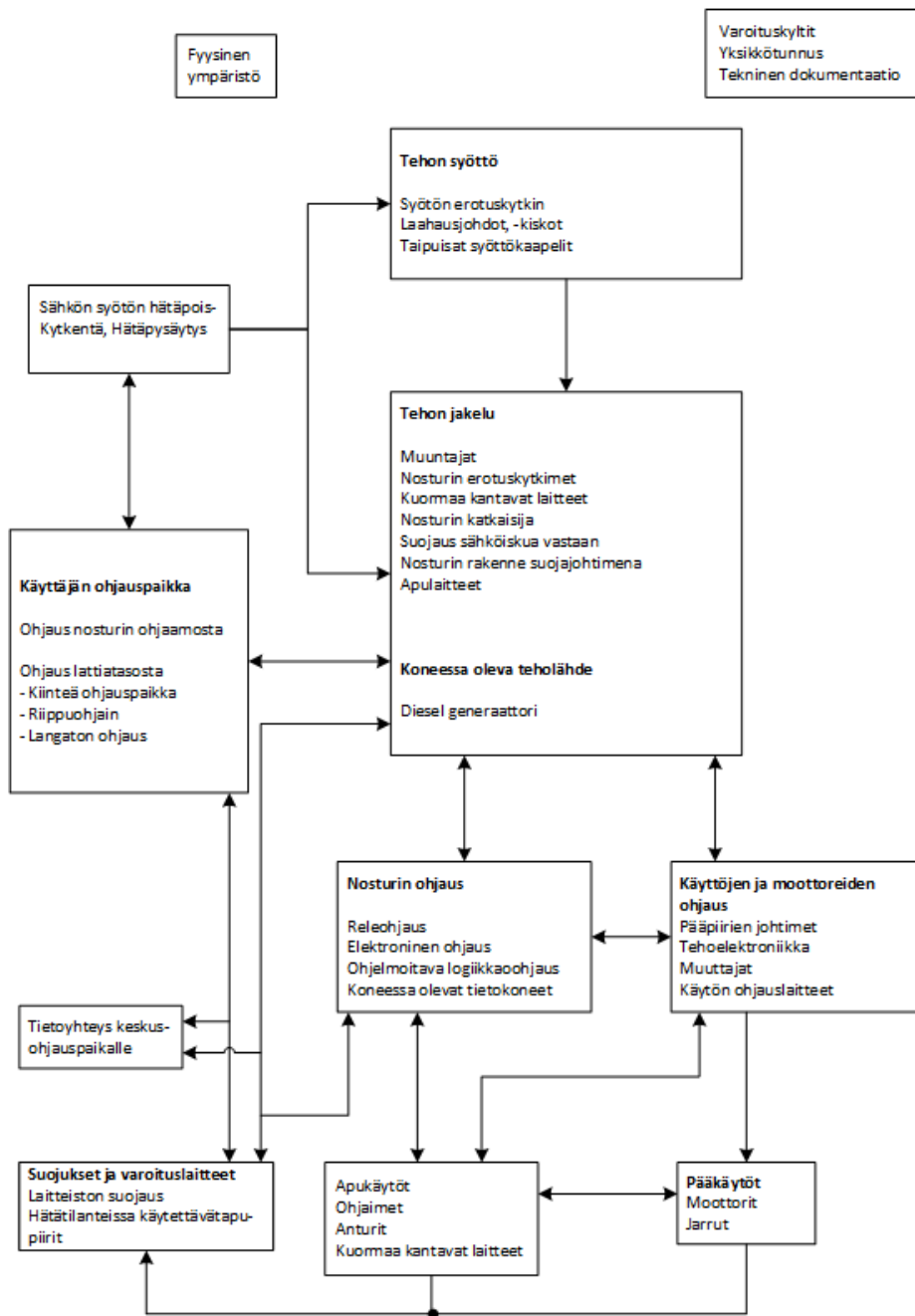
Suunnittelijan on hyvä tiedostaa käytettävien komponenttien vikamuodot, jotta vikaantumiset voitaisiin minimoida. Erilaiset tavat kartoittaa vikamuotoja, kuten FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) ja järjestelmän luotettavuuslohkokaavio, voivat olla hyviä työkaluja suunnittelun tukena. Komponenteista voidaan kuitenkin yleisellä tasolla tarkastella vikamuotoja kirjallisuudesta. [7, s. 243.] Luvussa 4 *Nosturin sähkösuunnittelu* käsitellään tarkemmin rasitustekijöitä liittyen eri komponenttien vikaantumisiin ja vikamekanismeihin.

Tässä työssä olennaisia komponentteja ovat koskettimet kontaktoreissa ja painonapeissa, tasasuuntaajat ja elektroniikkakomponentit, mukaan lukien mikropiirit. Kontaktorien ja painonappien vikamuodot ovat kytkentään liittyviä eli ”ei kytkeydy”, ”katkoo” tai ”jää kiinni”. Tasasuuntaajat sisältävät diodeja, ja niille tyypillisiä vikamuotoja ovat ”oikosulku”, ”ei läpäise” tai ”korkea käänteinen virta”. Tyypilliset mikropiirien ja digitaalipiirien vikamuodot ovat lähdön jumittuminen 1- tai 0- asentoon, ”ei toimintaa” tai ”parametrin vaeltaminen”. [7, s. 243–244.]

Jaksottainen vikaantuminen on erittäin yleinen vikamuoto. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että tietyissä olosuhteissa laite ei toimi, vaikka muuten toimii. Yleensä tällainen johtuu liitoksista, jolloin värinän tai tietyn lämpötilan vaikutuksesta liitos katkoo tai ei kytke lainkaan. Halkeama piirilevyssä voi ilmetä myös tällaisena jaksottaisen vikaantumisenä. Jaksottaisia vikaantumisia on vaikea paikantaa. Pahinta tällaisessa on, jos vikaa ei voida paikantaa ja vikaantuminen jatkuu, syntyy siitä muun muassa pysäytyksistä ja huolto-työstä aiheutuvia kustannuksia. [7, s. 245.]

4 Nosturin sähkösuunnittelu

Luvussa käydään läpi laitteisiin liittyviä direktiivejä ja standardeja sekä sähkösuunnittelussa huomioon otettavia asioita komponenttien osalta. Laadukkaan ja toimintavarman laitteen kuten nosturin suunnittelemisessa on huomioitava lukuisia asioita, joista vain osa käydään tässä työssä läpi. Suunnittelun alkuvaiheessa tehtävät valinnat komponenttien osalta vaikuttavat nosturin koko elinkaareen ja sen käytettävyyteen. Nosturin tyypillinen lohkokaavio sähkölaitteistosta on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Tyypillisen nosturin ja sen sähkölaitteiston lohkokaavio. [8, s. 92.]

Kaikista nostureista kuten mistä tahansa koneesta on tehtävä sähkösuunnitelmat. Ne voidaan tehdä, joko tapauskohtaisesti asiakkaille yksilöityihin tuotteisiin tai voidaan käyttää vakiopiirustuksia. Kytkentäkaavio mielletään tyypillisesti sähkösuunnitelmaksi, mutta todellisuudessa sähkösuunnitelma on paljon enemmän. Kytkentäkaaviossa todellisuudessa esitetään symbolit komponenteista toiminnallisesti ryhmiteltynä sekä niiden kytkentä.

Kytkentäkaavion lisäksi tarvitaan kaapeliluettelot, sijoittelu eli layout-kuvat ja materiaali-listat. Kaapeliluettelosta selviää erilaiset kaapelityypit eri asennuspaikkojen välillä. Sijoittelu eli layout -kuvista selviää eri komponenttien fyysinen sijoittelu koneessa eli esimerkiksi nosturissa tai kojekaapeissa. Materiaalilistoista selviää kaikkien käytettyjen komponenttien tyyppikoodi ja koko sekä komponentin positio eli laitetunnus koneessa. [8, s.162.]

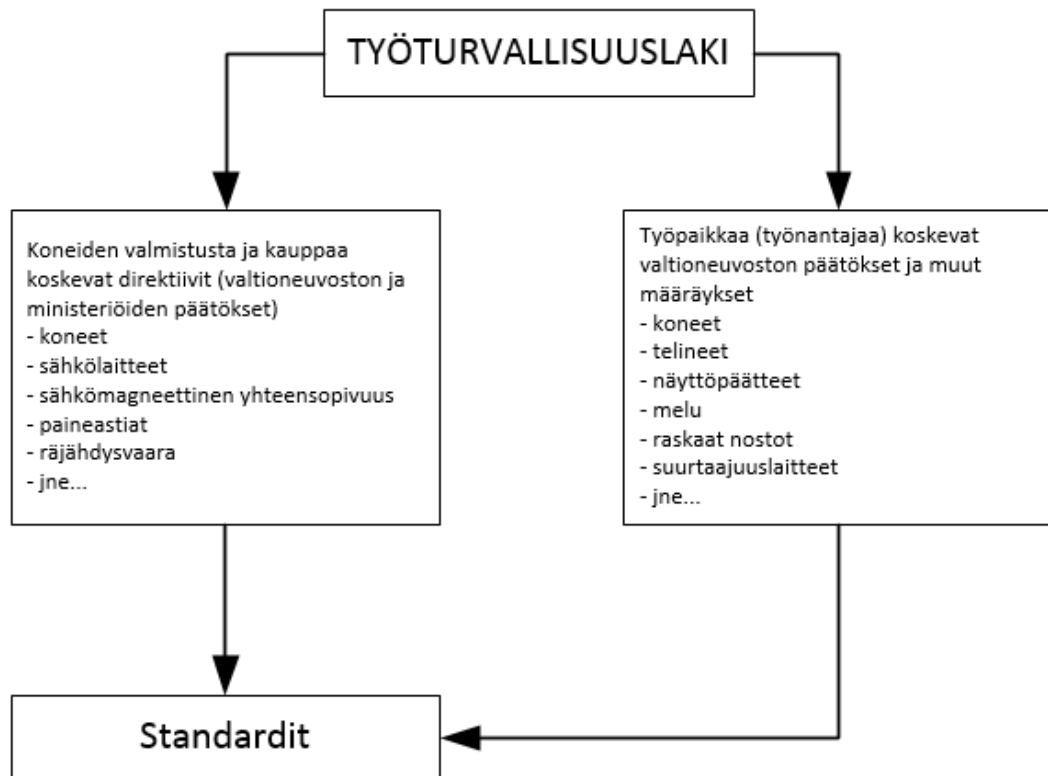
Nosturin sähkösuunnitteluun liittyy monta osa-aluetta. Ensinnäkin nosturiin on tuotava käyttöjännite ja -virta. Pääsääntöisesti nosturin virransyötössä käytetään nelijohdinjärjestelmää. Tämä sisältää kolme vaihejohdinta sekä maadoituksen. Virransyöttö on toteutettu yleisimmin nosturia ympäröivästä rakennuksesta nosturiin laahauskiskon avulla. Johdinmateriaalit kiskoissa ovat tyypillisesti kosketussuojattuja. Suojaus toteutetaan rakenteellisesti eli johdinmateriaalit ovat upotettuina muovirungon sisälle. Sovelluksesta riippuen voidaan tarvita kaksoislaahain takaamaan jatkuva ja katkeamaton virransaanti. Nosturissa virransyöttö nostimelle toteutetaan tyypillisesti kaapelilla. [8, s.164.]

4.1 Konedirektiivit ja standardit

Nosturien suunnittelussa noudatetaan konedirektiiviä ja standardeja. Standardien merkitys on suuri, koska nykyinen koneiden turvallisuutta koskevien määräyksien järjestelmä (kuvassa 6) perustuu siihen, että kone tehdään sitä koskevan yhdenmukaistetun eli harmonisoidun standardin mukaiseksi ja siten kone täyttää siltä osin myös valtioneuvoston koneturvallisuuspäätöksen liitteen 1 olennaiset terveys- ja turvallisuusvaatimukset. [9, s. 30–31.] Standardien tarkoituksena turvallisuuden parantamisen lisäksi on myös varmistaa tuotteiden ja järjestelmien yhteensopivuus. [10.]

Nostureihin liittyen standardeilla taataan, että kuorma pysyy hallinnassa ja kuljettajilla sekä huoltomiehillä on turvallinen ympäristö. Jokainen nosturivalmistaja voi vaikuttaa

omalla tuotekehityksellään erilaisten nosturiratkaisujen toimivuuteen asiakkaiden ympäristöissä. Merkittäviä nosturin sähkölaitteita koskevia standardeja ovat kansainvälisenä IEC (International Electrotechnical Commission), eurooppalaisena CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization) ja kansallisena SFS (Finnish Standard Association), NEMA (National Electrical Manufacturers Association) ja VDE (Verband Deutscher Elektrotechniker). [2, s. 51; 11, s. 25.]



Kuva 6. Koneita koskevien määräysten rakenne. [9, s. 43.]

Standardoimisjärjestöjen välillä on sovittu yhteistyöstä siten, että samasta aiheesta tehdään vain joko eurooppalaisessa CENELEC:ssä tai kansainvälisessä IEC:ssä. Standardiehdotukset tulevat lausunnoille ja niistä äänestetään yhtä aikaa Euroopassa ja IEC:ssä. Tällä toiminnalla tavoitellaan sitä, että standardi on voimassa saman sisältöisenä Euroopassa ja muualla maailmassa. Standardit ovat yleensä voimassa vain tietyn ajan ja se on muistettava niitä käytettäessä. SFS-EN tarkoittaa, että se on vahvistettu eurooppalaiseksi ja on olemassa myös suomalaisena. [2, s. 30-31; 11, s. 25.]

EU:n konedirektiivi on sama kuin valtioneuvoston päätös koneiden turvallisuudesta ja sen asettamat velvoitteet ovat pääasiassa suunnattu koneiden valmistajille. Standardit ovat direktiivejä täsmentäviä vaatimuksia, joista voidaan tietyin ehdoin poiketa. [9, s. 43;

11, s 25.] Vakuutena koneen tai esimerkiksi muun sellaisen sähkölaitteen direktiivien täyttymisestä, valmistajan tulee hankkia tuotteelle CE-merkintä. Yli 20 direktiiviä edellyttää CE-merkintää, ja direktiivi usein myös vaatii vaatimusten täyttymisten osoittamista, esimerkiksi testauttamisen kautta. [10.]

4.1.1 Koneturvallisuus

Turvallisuuden kannalta nostolaitteet ovat muita työkoneita vaativampia. Nostolaitteen hallinta- tai turvalaitteen tai mekaanisen rakenteen äkillisen vaurioitumisen seurauksena uhkana useimmiten on taakan hallitsematon liike, nosturin romahtaminen tai kaatuminen. Työkoneissa tyypillisesti vaurio tai esimerkiksi hallintalaitteen häiriö johtaa koneen pysähtymiseen tai johonkin materiaaliveurioon. Nosturissa taakan putoaminen aiheuttaa erityisen vaaran nosturin työskentelyalueella. [11, s. 387–389.]

Automaattisen pysty- ja vaakasiirtolaitteen vaaravyöhykkeen eristäminen on mahdollista, kun taas ihmisen ohjaaman nosto- ja siirtokoneen vaaravyöhykealuetta ei pystytä eristämään kokonaan. Tämä tekee oleelliseksi koneen turvallisuuden huomioimisen jo suunnitteluvaiheessa, jotta koneen turvallinen hallinta ja käyttö ovat mahdollista. Tästä huolimatta koneisiin jää huomattava jäännösriski. Koneen käyttötapa vaikuttaa jäännösriskiin ja siksi se vaihtelee eri käyttäjistä riippuen. Ohjausjärjestelmän suunnittelussa on tärkeää ottaa huomioon myös sen vikaantuminen. [11, s. 387–389.]

Konedirektiivit sisältävät joukon hallintajärjestelmiä eli ohjausjärjestelmiä koskevia vaatimuksia. Perusvaatimukset ovat muun muassa normaalin käytön tai käyttövirheen vaikutuksen hallintaan, laitehäiriöiden huomioimiseen ja käyttäjän ergonomiaan ja mukavuuteen liittyviä vaatimuksia, kuten koneen ja ihmisen rajapinnan sopivuuteen. Suurin osa perusvaatimuksista on yksinkertaisia toteuttaa. [11, s. 113–114.]

4.1.2 Ohjauslaitteet ja -järjestelmät

Nostavan koneen hallintaelimiin ja ohjausjärjestelmiin liittyy erilaisia vaatimuksia. Konekohtaisissa standardeissa on yksityiskohtaisempia turvallisuutta koskevia vaatimuksia. Sähkösuunnittelun kannalta oleellisia asioita ovat myös logiikkaan ja muihin elektronisiin laitteisiin kohdistuvia vaatimuksia, jotka pitää suunnittelussa huomioida.

Koneasetuksen mukaan koneen on pysyttävä turvallisessa tilassa, joihin liikkeiden hallintalaitteet on asennettu. Ohjausjärjestelmät on suunniteltava ja rakennettava sellaiseksi, että ne estävät vaaran syntymisen ja niiden on kestävä käyttörasitukset sekä ulkoiset rasitukset eikä järjestelmän tai ohjelmiston vika aiheuta vaaraa. Koneen hallittu käynnistäminen ja pysäyttäminen sekä koneen kiinni pitämisen kappaleen vaarattomuus ovat hyvin oleellisia nostureissa. Lisäksi langattomiin järjestelmiin liittyy se, että ohjaussignaalin kadotessa tai vääristyessä koneen on pysähdyttävä. [12, liite 1.]

Nostureista on myös löydyttävä tiettyjä liikkeitä rajoittavia ja virheellisiä liikkeitä estäviä rajakytkimiä ja turvalaitteita (SFS-EN 12 077-2). Siltanosturin kannalta näitä liikkeitä ovat noston ja laskun rajoitin, löysän köyden rajoitin, ajon rajoitin, työskentelytilan rajoitin sekä törmäyksenestolaite.

Nosturin pitämä kuorma ei saa vaarallisesti valua tai pudota, jos tehonsyöttö katkeaa osittain tai kokonaan. Tavallisesti kuormaa ei saa edes olla mahdollista laskea pelkän kitkajarrun varassa lukuun ottamatta sellaiset sovellukset, joissa se on tarkoitettua. Lisäksi liikkeitä ohjaavien toimintojen on oltava pakkotoimisia. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että käyttäjän hallinnassa oleva nosturi pysähtyy aina, jos sitä ei erikseen ohjata. Automaattisen nosturin ohjauksen mahdollistaa käytännössä eristetty alue.

Samanaikaisesti ohjattavat kiinteät tai kiskolla liikkuvat koneet altistuvat törmäyksestä johtuville riskeille. Sen vuoksi ne on suunniteltava sellaiseksi, että niihin voidaan riskin välttämiseksi asentaa asianmukaiset järjestelmät, jotka valvovat keskinäisiä sijainteja. Käytännössä tämä tarkoittaa ajon hidastamista lähestymistilanteissa ja lopulta pysäyttämistä. Nämä järjestelmät voidaan toteuttaa erilaisilla anturoinneilla. Yleensä kuitenkin esimerkiksi etäisyyttä mittaavat komponentit eivät ole tarpeeksi luotettavia ja tyyppihyväksytyjä turvakomponentteja ja siksi näiden lisäksi on käytettävä myös varajärjestelmää. Varajärjestelmänä voi olla riippumaton mekaanisesta vaikutuksesta avautuva kosketin, joka pysäyttää nosturin liikkeen.

Kuorman suuruutta valvovan ja siihen liittyvän ohjaavan laitteiston on oltava turvallinen vikaantuessakin. Ylikuormasta johtuva rakenteen pettäminen tai muu taakan putoaminen on aina vaarallinen tapahtuma ja siksi pyrittävä estämään. Kuormaa rajoittavien ja siitä ilmaisevien laitteiden vaatimuksia on standardissa SFS-EN 12 077-2. [13, s. 459–464.]

4.2 Komponenttien rasitukset

Komponenttivalintoihin liittyy vahvasti myös niiden luotettavuus- ja laatuasiat. Tuotekehitysvaiheessa testausta ja analyysieja tehdään sen takia, että saadaan tietoa komponenttien luotettavuudesta suunnittelun ja komponenttivalintojen tueksi. [6.] Suunnitteluvaiheessa on ennakoitava mahdollisia vikamuotoja, jotta vikoja voidaan ehkäistä komponenttivalinnoilla. Tässä kappaleessa esitellään tyypillisimmät sisäiset rasitustekijät ja niiden aiheuttamat vikamekanismit. Luvussa 3 lueteltu tarkemmin eri vikamuotoja komponenttikohtaisesti. Tässä työssä keskitytään syvällisemmin sisäisiin rasituksiin ja kappaleessa 4.4 kerrotaan lyhyesti myös ulkoisista rasitustekijöistä. Erittäin oleellisena rasitustekijänä nostureissa on myös esimerkiksi värinä.

4.2.1 Lämpötilat

Suunnittelussa on tärkeää ottaa lämpötilan vaikutukset huomioon. Varsinkin elektroniset järjestelmät on sijoitettava siten, että niiden tuottama lämpö ja ympäristön lämpötila eivät yhteensä ylitä sallittuja lämpötilan raja-arvoja. Lämpötila-asiat tulee ottaa hyvin huomioon suunnitteluvaiheessa, sillä korkea lämpötila voi kiihdyttää komponenttien vikaantumista merkittävästi.

Sähköteho synnyttää lämpöä ja noudattaa kaavaa 2, jossa teho P syntyy komponentin läpi kulkevan virran I ja komponentin resistanssin R vaikutuksesta. Kaikki elektroniikan aktiivikomponentit kuten transistorit, mikropiirit ja vahvistimet synnyttävät lämpöä, samoin myös passiivikomponentit, kuten kelat ja vastukset. Laitteen tai kotelon lämpötila on ympäristön ja komponenttien tuottaman lämmön yhteenlaskettu lämpötila. Laitteen sisäisiä lämpötiloja saadaan johdettua ulos erilaisin keinoin, kuten esimerkiksi jäähdytysrimoin, mutta myös pelkät liittimet voivat johtaa lämpöä laitteesta tai komponentista. [7, s. 229; s. 246.]

$$P = I^2 \times R \quad (2)$$

Komponentin tai laitteen pintalämpötila voidaan laskea kaavalla 3, jossa T_J on pintalämpötila, T_A on ympäristön lämpötila, θ on kuoren lämpöresistanssi ja P on komponentin tuottama lämpöteho.

$$T_J = T_A + \theta P \quad (3)$$

Hyvänä esimerkkinä on nostimen kojekaappi, jonka sisälle sijoitetaan erilaisia laitteita. Toiset laitteet sisältävät elektroniikkaa ja mikropiirejä, mutta myös esimerkiksi muoviraakenteessaan sisältävät komponentit haurastuvat. Pelkästään materiaalien lämpölaajeneminen lämpötilan vaihdellessa voi rikkoa komponentteja.

4.2.2 Virta ja jännite

Sähkövirta aiheuttaa johtimissa lämpenemistä, eli tehoa resistanssin vuoksi. [7, s. 229.] Johtimen resistanssi siis vaikuttaa sen lämpenemiseen. Huomataan, että teho ja ympäristönlämpötilat vaikuttavat johteisiin ja komponentteihin haitallisesti. Lämpötilan saavuttaessa johdinaineen sulamislämpötilan, se toimii lopulta sulakkeen tavoin, mutta johdinta ei käytetä sulakkeena. Lämpötilan nousu johtimissa johtuu myös siinä kiinni oleviin rakenteisiin ja eristeisiin ja silloin eristevaurio aiheuttaa taas omat vikaantumiset. Suuret sähkövirrat voivat aiheuttaa myös komponenttien ominaisarvojen ajalehtimistä, kuten resistanssin. Resistanssin muutos tapahtuu jo pelkän ympäristön lämpötilavaikutuksen takia. Erilaisten signaalien häiriöt voivat olla myös sähkövirran aiheuttamia, koska sähkövirta tuottaa magneettikenttiä, jotka taas synnyttävät resistanssissa jännitettä vaikuttamaan itse signaaliin. [7, s. 227.]

Jänniterasitusta pyritään vähentämään eristysmateriaalien sähkölujuudella eri potentiaalien välillä. Käytännön esimerkkinä on kondensaattori, jonka toimintaperiaatteessa hyödynnetään kahden eri potentiaalien väliin laitettavaa eristemateriaalia. Potentiaaliero johteissa, kuten kaapeleissa tai kondensaattorissa, muodostaa sähkövirtaa eristeessä, ja liian iso virta aiheuttaa komponentin rikkoontumisen. Suuri jännite voi tulla myös sähköstaattisena purkauksena (ESD) esimerkiksi vaatteista tai työkaluista. Muita sähköisiä rasituksia komponentteihin voi tulla transienttijännitteistä sähköjakelussa, epävakaita teholähteistä tai virtapiirivioista. [7, s. 227–228.]

Kipinöinti on toinen jännitteen aiheuttama räsistekijä, jota voi syntyä aina kosketinta avattaessa esimerkiksi releessä tai kytkimessä. Kipinöintiä voi tapahtua myös muun muassa laahaimien hiiliharjoissa. Kipinöinti aiheuttaa sähkömagneettisia häiriöitä (EMI), mutta myös vahingoittaa koskettimen pintamateriaalia aiheuttaen niin edelleen vikaantumisia. Se voi aiheuttaa myös vahinkoa sähkömoottorin laakereissa, jos sähkövirralle syntyy virtatie laakerin kautta puutteellisen suunnittelun vuoksi. Kipinöintiä pystytään vähentämään jännitteenestokomponenteilla, kuten kondensaattorilla koskettimen rinnalla. [7, s. 228.]

Muita ilmiöitä kuten koronapurkauksia voi esiintyä sellaisissa terävissä kohdissa, joissa korkeita jännitteitä esiintyy. Matalat jännitteet ovat myös joillekin komponenteille haitallisia. Esimerkiksi pitkäkestoiset pienet virtatasot pienien releiden koskettimissa saattavat jumittaa kontaktin kiinni, johtuen pintojen kylmähitsaantumisesta. Toisinaan piirilevyillä sijaitsevat elektroniikkaliittimet voivat olla hapettuneita eikä pieni virta silloin riitä läpäisemään eristystä ja siksi piiri ei toimi. [7, s. 228.]

4.2.3 Ylikuormitus ja transientit

Jotkut passiivikomponentit, kuten vastukset ja kondensaattorit, ovat alttiita vikaantumaan ylikuormituksesta. Pitkäkestoinen ylikuormitus komponentilla voi aiheuttaa vastus- tai kapasitanssiarvon vaeltamista. Laitteille, jotka sisältävät näitä komponentteja on hyvä asettaa maksimitehoarvoja. [7, s. 229.]

Elektroniikkakomponentit ovat hyvin alttiita vikaantumaan transienttiylijännitteiden seurauksena. Niitä voi syntyä esimerkiksi kuorman kytkemisestä, kapasitiivisesta tai induktiivisesta kuormasta tai sähköstaattisesta purkauksesta. Erityisesti jotkut puolijohdekomponentit ovat hyvin alttiita tällaisille vikaantumisille, kuten pienitehoiset transistorit. Tämä johtuu niiden ominaislämpökapasiteetista. Suojautuminen transienttiylijännitteeltä voidaan toteuttaa oikealla suunnittelulla ja komponenteilla.

Passiivi-komponentit voivat myös vikaantua transienttien vaikutuksesta, mutta silloin transientin energian tulee olla paljon suurempi. Todella suuria sähköstaattisia potentiaaleja kuten esimerkiksi 5000 V, voi syntyä pelkästä vaateuksesta. Tällaisen varauksen purkautuminen herkkiä komponentteja sisältävien laitteiden liittimiin tai johteisiin tuhoaa todennäköisesti laitteen komponentteja. Tällaisten laitteiden käytössä ja kokoaikaisessa

käsittelyssä on suojaus ESD:tä vastaan otettava huomioon koko tuotteen elinkaaren aikana. [7, s. 246–247.]

4.2.4 Sähkömagneettinen yhteensopivuus

Sähkömagneettiset kentät voivat häiritä laitteiden normaalia toimintaa. Sähkömagneettinen kenttä tai muu sähköinen häiriö johteissa häiritsee niissä kulkevia signaaleja, aiheuttaen kohinaa (EMI) ja toimintahäiriön signaalin muuttuessa. Sähkömagneettinen yhteensopivuus laitteiden suunnittelussa, vaikuttaa sen sietokykyyn tai on jopa immuuni häiriöille. [7, s.244.]

Kohinaa (EMI) voi aiheuttaa moni häiriölähde, kuten nosturissa esimerkiksi seuraavat:

- korkeataajuuksiset kytkeytymiset, kuten taajuusmuuttajan kytkentätaajuus. Se aiheuttaa herkästi häiriöitä herkkiin signaaleihin. Lisäksi kaikki johteet ovat potentiaalisia vastaanottimia, mutta myös lähettäjiä
- transientit potentiaalierot eri osilla, johtuen kapasitiivisista tai induktiivisista ilmiöistä
- häiriöt radiosignaalista, tutkasta, kipinöivästä relekytkeytymisestä ja niin edelleen
- samassa piirissä olevat induktiiviset tai kapasitiiviset kuormat, kuten oikosulkumoottorit
- normaalit nykyaikaiset digitaaliset tiedonsiirtotaajuudet 500 MHz - 3 GHz. Näillä varmistetaan tiedonsiirto, mutta ne väistämättä voivat aiheuttaa häiriöitä laitteissa. [7, s. 245.]

4.3 Rasitukset kaapeleissa ja eristyksissä

Kaapeleita ei yleensä pidetä kovinkaan korkean tekniikan tai korkean riskin komponenttina, mutta ne täytyy valita huolella suunnitteluvaiheessa. Kaapelit ovat keskeisessä roolissa myös koko nosturin luotettavuudessa, koska niiden välityksellä siirretään sähköteho

ja tarvittavat signaalit. Johdotusjärjestelmät ovat yleisimmin yksittäisiä kuparijohtimia tai moninapaisia kaapeleita. Moninapajohtoja on nosturissa pyöreän- ja litteänmallisena. Vauriot kaapelissa voivat tapahtua jo nosturin valmistuksessa, mutta myös värinän ja liikkeen aiheuttamana. Yleisimmin vaurio syntyy liittimien alueelle, mutta tyypillinen vaurioriski on kohdissa, joissa taivutusta tapahtuu toistuvasti. [7, s. 240.]

Johdinvioissa tyypillinen vikamuoto on pysyvä tai satunnainen avoin piiri, eli käytännössä kuparijohdin vaurioituu ja katkeaa. Tämän vuoksi kaapelointi tulisi suunnitella siten, että vältetään tällaisilta rasituksilta erilaisilla tuennoilla ja mekaanisilla suojauksilla. Optiset johdinjärjestelmät ovat varsinkin herkkiä taivutuksien aiheuttamille vikaantumisille. [7, s. 240.]

Sähköisissä järjestelmissä eristykset ovat yhtä tärkeitä asioita kuin johteetkin. Kaikki johtavat osat on eroteltava toisistaan kuten kaapelissa ja liittimissä, mutta myös piirikorteilla. Käämitykset sähkömoottoreissa tai keloissa vaativat myös eristyksen. Eristeet suojaavat ihmisiä vahingolta ja mahdolliselta kuolemalta. Yleisempiä eristyksen vaurioon ja vikaantumiseen aiheuttavia syitä ovat [7, s. 240.]

- mekaaninen vahingoittuminen, hankaumat ja pingottuminen
- sähkölujuuden menetys ja liiallinen lämpötila
- haurastuminen ja murtuminen, lämpötila, UV-säteily tai kemikaalit.

4.4 Ulkoiset rasitustekijät

Merkittävimmät ulkoiset rasitustekijöitä ovat lämpö, kemikaalit, värinä, kosteus ja lika. Nämä olisi hyvä pitää mielessä sähkösuunnittelua tehtäessä, varsinkin kotelointia ja liitoksia ajatellen. Erityisesti liittimet ja liitokset liikkuvissa ja värinäalittiissa paikoissa hankaavat keskenään aiheuttaen kulumista. Lisäksi kosteus ja lika, varsinkin yhdessä, saattavat muodostaa pinnoille syövyttäviä yhdisteitä, jotka aiheuttavat kaikille pinnoille korroosiota. Tyypillisesti kohtuullinen korroosio ei aiheuta haittaa, jos se otetaan suunnitteluvaiheessa huomioon. Suunnittelijan on hyvä tuntea tuotteen tai laitteen lopullinen käyttöpaikka, jotta olosuhdeongelmilta välttyttäisiin. Nosturissa olevat öljyt ja rasvat on hyvä ottaa huomioon. Tyypillisesti kemikaalit vähintään pehmentävät sellaisia materiaaleja,

joita on useissa paikoissa käytössä ja joita ei ole luokiteltu kemikaaleja kestäviksi. [7; 14.]

5 Suunnitteluratkaisujen vertailu

Sähkösuunnittelun vaikutusta nostimen luotettavuuteen ei ollut aikaisemmin tutkittu systemaattisesti. Tämän tutkimuksen tarkoituksena on aloittaa systemaattinen tutkimus sähkösuunnittelun ja -komponenttivalintojen vaikutuksesta nostimen luotettavuuteen. Tutkimusta aloitettaessa kävi nopeasti selväksi, että työ tulisi olemaan erittäin laaja ja sen vuoksi se oli rajattava huolellisesti tämän opinnäytetyön osalta. Tarkastelun kohteeksi valittuja komponentteja tai suunnitteluratkaisuja ovat ohjauskontaktorit, jarrunohjausratkaisut, radio- ja painikeohjaus sekä kunnonvalvontalaitteet ja ylikuormasuojaus. Työssä eri nosturivalmistajat ovat nimetty ruskan sävyillä Okra, Siena, Umbra ja Ruskea.

5.1 Tietojen luotettavuus

Eri nosturivalmistajien sähkösuunnitteluratkaisuja verrattiin tutkimalla niiden sähkökuvia. Vertailussa olleiden nostinvalmistajien sähkökuvalähteet ovat luotettavia ja niihin liittyvä riski on minimaalinen. Vertailussa materiaalina käytettiin myös tutkittavien valmistajien julkaisuja tai muita julkaisuja täydentämään yleistä käsitystä sähkösuunnitteluratkaisuksista.

5.2 Huoltotietoanalyysit

Valittujen komponenttien suhteellisia vikaantumismääriä verrattiin tutkimuksen kohteena olevien neljän nosturin kesken. Tarkempaan vertailuun on otannan mukaan laskettu vertailukelpoiset suhteelliset luvut vikaantumisista. Esitettyihin suhteellisiin lukuihin vaikuttaa monta epävarmuustekijää, joista yksi on näytteiden määrä. Kaikista valmistajista ei ollut saatavilla yhtä paljon huoltotietoja, että olisi saatu tilastollisesti luotettavampi vertailu. Toinen lukuihin vaikuttava merkittävä tekijä on eri valmistajien ohjeistus mahdollisista komponenttien vaihtoväleistä. Valmistajalla voi olla käyttötunteja tai -syklejä vastaavan luvun perusteella ohjeistus siitä, milloin tietty komponentti tulisi uusia.

5.3 Käytetyt komponentit

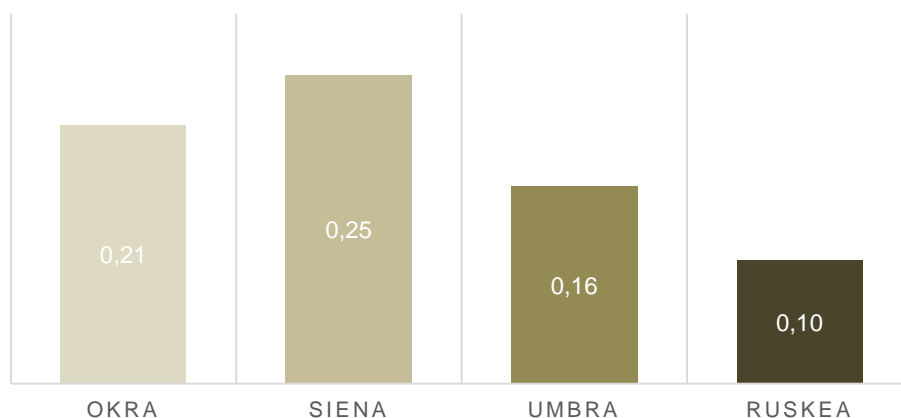
Sähkökytkentöjen lisäksi kiinnostuksen kohteena olivat komponenttivalinnat. Käytettyjen komponenttien tietoja oli mahdollista etsiä osaluetteloiden avulla niistä nostimista, joista osaluettelot olivat saatavilla. Osaluetteloon ei välttämättä merkitä kaikkea informaatiota suoraan merkitä, mutta joillain valmistajilla osaluettelosta saattoi löytyä jopa komponentin sähköisiä arvoja. Neljän tutkittavan valmistajan osaluetteloista tai sähkökuvista löytyi aina jokin täsmentävä tieto käytetystä komponentista, josta oli mahdollista päätellä kyseisen komponenttityyppi. Näistä huolimatta kaikilla valmistajilla on jollain tavalla itselleen räätälöityjä tai omaa tuotantoa olevia laitteita, joiden elektroniikkakomponenttitalolle on lähes mahdotonta päästä. Siitä johtuen tällaisten kokonaisuuksien tai laitteiden toimintaa ja komponenttiikkaa on vaikea täysin luotettavasti vertailla, sillä niiden vaikutukset ovat vain arvauksia.

5.3.1 Ohjauskontaktorit

Kontaktorit ovat tärkeässä osassa nostimen hallittua ohjaamista sekä tapa, jolla saadaan oikosulkumoottori käynnistettyä ja pysäytettyä sekä nopeutta ja suuntaa vaihdettua. Nopeudenvaihtoon tarvitaan kahdet käämit tai kaksi eri moottoria. Kontaktoreita ja niiden kytkentämalleja tarkasteltaessa selvisi, että kaikilla neljällä tutkittavilla valmistajalla oli käytössä saman, laadukkaana mielletävän valmistajan kontaktoreita. Tämän vuoksi kontaktorien aiheuttamia vikaantumisia oli vertailukelpoista tutkia ja syy niiden aiheuttamiin ongelmiin voi olla sähkösuunnittelussa.

Valmistajan Ruskea saaduista sähkökuvista ei täysin voinut kontaktorikytkentöjen osalta vertailla, koska kontaktoreilla varustetusta nostimesta ei ollut osaluetteloa saatavilla. Ongelmien osuus huoltotietoihin perustuen ja suhteellisin luvuin on esitetty kuvassa 7. Suhteellisilla luvuilla verrattaessa nähdään, että Okran ja Sienan valmistamissa nostimissa kontaktorien aiheuttamia vikaantumisia tapahtuu enemmän.

KONTAKTORIVIAT (SUHTEELLISET)



Kuva 7. Suhteelliset kontaktorien vikamäärät nostinvalmistajittain.

Kontaktorien kytkentöjä tarkasteltaessa voitiin päätellä niissä olevia eroavaisuuksia eri valmistajien välillä. Suunnanvaihtokytkennässä ristikytkettävien vaiheiden osalta eroja oli niin, että valmistajat Okra ja Umbra kytkivät vaiheet L1 ja L3 ristiin. Tällöin vaihe L2 pysyy aina samana, mutta Umbran sovelluksessa muista poiketen, moottorin nopean ja hitaan nopeuden vaihdossa ohjataan toisena vaiheena kiinteää L2 -vaihetta. Siena käyttää kiinteänä vaiheena L1 ja suunnanvaihtokytkentä sekä nopean ja hitaan kytkentä on toteutettu vaiheilla L2 ja L3. Tässä esitettyjen vaiheiden merkinnät L1, L2 ja L3 voitaisiin merkitä myös sähkömoottorille tutummin U, V ja W.

Käytettävä pääjännite kontaktorien pääkoskettimilla on sama maantieteellisestä alueesta riippuen, mutta virta saattaa tehosta riippuen vaihdella ja sen vuoksi kontaktorien mitoituksella sähkösuunnittelussa on suuri merkitys. Mitoituksia tutkimalla voitiin päätellä, että kontaktorivalmistajan antamia raja-arvoja on osittain noudatettu. Muista tarkastelussa olleiden nostinvalmistajista poiketen, nostinvalmistaja Siena käyttää sellaisia kontaktoreita moottorin ohjauksessa, jotka komponenttivalmistaja on määritellyt resistiiviselle kuormalle eikä oikosulkumoottorin käynnistämiseen. Tähän suunnitteluratkaisuiden vertailuun on otettu huomioon mahdollisuuksien mukaan kerätyt tiedot moottorin tehoista ja virta-arvoista sekä arvioitu käynnistysvirtasysäys kaavalla 4, jossa I_{START} on käynnistysvirta ja I_N on nimellisvirta.

$$I_{START} = I_N \times 6 \quad (4)$$

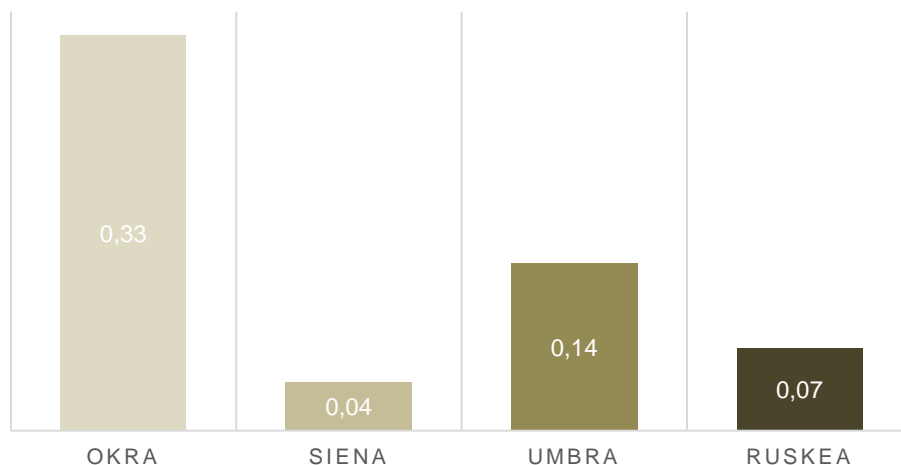
Sähkökuvien mukaan kaikki valmistajat eivät käytä RC-suojaa kontaktorin kelan rinnalla. RC-suojan tarkoitus on poistaa jännitepiikki kytkentätilanteessa ja siitä aiheutuva sähkömagneettinen häiriö (EMI). Sen tarkoitus on myös suojata kontaktoria ohjaavaa kosketinta, joka voi olla nostimen painikeohjaimessa tai logiikan ohjaamassa ohjausreleessä. [6.] Tämä voi olla myös puute vain sähkökuvissa, vaikka niitä oikeasti käytettäisiinkin. Tutkimuksessa kaikilta valmistajilta ei osaluetteloakaan ollut saatavilla ja sen vuoksi siltä osin ei voida varmaksi asiaa todeta yksittäisten komponenttien osalta. Vertailussa olevan valmistajan Ruskea saatavilla olevasta dokumentaatiosta RC-suojakomponentti löytyi osaluettelosta ja sähkökuvista piirrosmerkkinä.

Tutkimuksen mukaan nostinkäytössä tyypillinen kontaktorien ohjausjännite on $48 V_{ac}$. Yhdellä valmistajalla se oli poikkeuksellisesti $230 V_{ac}$ oletuksena. Kyseinen valmistaja erottui suhteellisessa vertailussa epäedukseen, mutta syynä suurempaan vikatiheyteen voi olla myös Sienan poikkeuksellinen kontaktorivalinta. Suurin osa vikamuodoista Sienalla oli kontaktien palaminen, hitsautuminen tai kipinäointi. Tämä ei siis vaikuta ohjaukseen liittyvältä vian juurisyyltä, vaan ennemmin päävirran mitoittamiseen.

5.3.2 Nostojarrun ohjaus

Noston jarrunohjaus on oleellinen osa nostimen hallittua kuorman paikalla pitämistä. Jarrua ei tulisi ohjata kiinniasentoon kesken liikkeen sen kulumisen vuoksi. Tutkittavana työssä oli noston jarrunohjaus, mutta käytetyssä suhteellisessa tilastossa mukana on myös nostojarrun muista kulumisista aiheutuneita vikaantumisia. Osa nostojarruihin liittyvistä vioista voi kuitenkin liittyä sen ohjaukseen ja sen vuoksi nämä huomioidaan tässä tutkimuksessa. Kuvasta 8 voidaan nähdä, kuinka paljon suhteellisin luvuin verrattuna nostojarrun aiheuttamia vikaantumisia esiintyy. Nostinvalmistajista Okra esiintyy epäedukseen tässä vertailussa. Huoltotiedoista kuitenkin voidaan päätellä, että suhteellisessa vertailussa erottuminen johtuu pääosin mekaanisesta suunnittelusta. Esimerkiksi jarrun sijoittaminen öljylle alttiiseen kohtaan lisää riskiä öljyn aiheuttamalle vikaantumiselle.

JARRUVIAT (SUHTEELLISET)



Kuva 8. Jarrujen aiheuttamat vikaantumiset valmistajittain suhteellisin luvuin.

Tutkimuksen mukaan jarrunohjaukseen on erilaisia ratkaisuja, joissa on osittain samanaista suunnitteluperustaa. Tarkastelun kohteena olevien sähkökuvien mukaan kaikilla valmistajilla vaihtosähkön tasasuuntaus liittyy jarrujen syötölle. Jarrun tasasuuntaajalle sähkönsyöttö tulee joko kontaktorin kautta tai suoraan moottorin staattorilta. Kontaktoria käytetään myös tasasuuntauksen tasajännitepuolella (DC). Kaikilla valmistajilla katkotaan tasajännitettä varmistaen jarrun nopea reagoiminen. Jarrujen ohjaukseen liittyy sitten vaihtojännite, tasajännite, tasasuuntauksen toteuttava elektronikka sekä niiden ohjaukset.

Sähkökuvien perusteella tällaisten tasasuuntaimien kytkentää pääsee hyvin rajoitetusti komponenttitasolla tarkastelemaan, mutta kyseisessä sovelluksessa voidaan hyvin olettaa tasasuuntaajan sisältävän erilaisen määrän ainakin diodeja, mutta mahdollisesti myös muuta elektronikkaa ja jopa älyä. Tasasuuntaajassa käytettyjen diodien määrään voi ulkopuolinen kytkentä antaa osviittaa sisään menevien liitosten lukumäärästä.

Jarrunohjauksen ensimmäinen sähkönsyöttö on toteutettu kahdella eri tavalla neljästä valmistajasta. Valmistajat Siena ja Ruskea ottavat sähkösyötön nähtävästi sähkömoottorin kytkennästä, eli tarkemmin kahden eri staattorikäämyksen tähtipisteistä. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että niissä hyödynnetään staattorikäämyksien potentiaallieroa. Toista nopeusaluetta eli staattorinkäämistä käytettäessä, jarrunohjauspiirissä oleva tasasuuntaaja saa sisääntulojännitteen. Näistä valmistaja Ruskea eroaa sillä, että tasasuuntaajasta ainoa lähtösignaali on tasajännitteen positiivinen lähtö ja jarrukelan ne-

gatiiviseen napaan kytkeytyvä signaali moottorilta kytkeytyy myös toiseen tasasuuntaajan sisääntulolinjaan. Tutkimuksen perusteella kyseinen ratkaisu ei kuitenkaan ole huono, vaikka on hyvin erilainen. Nämä valmistajat, jotka ottavat jännitteen staattorikäämityksistä jarrunsyötölle ovat suhteellisessa vertailussa parempia, kuin valmistajat Okra ja Umbra.

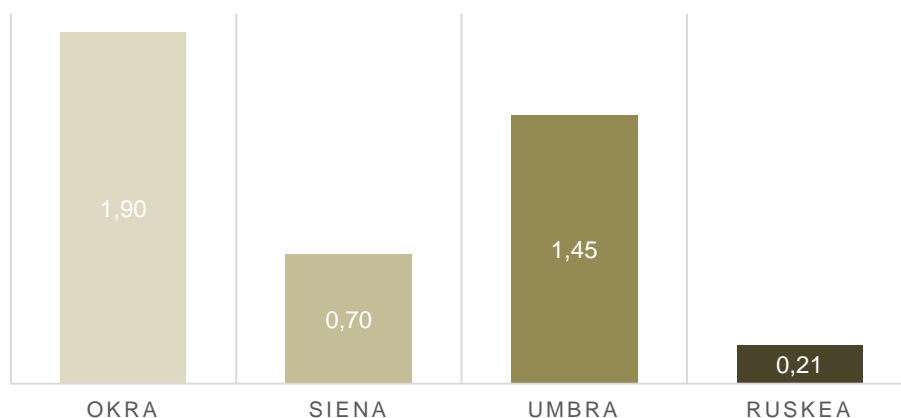
Tasasuuntaajan tasajännitepuolen eli jarrukelalle menevän tasajännitteen katkomisessa käytetään yleensä kontaktorien koskettimia. Valmistajat Siena ja Ruskea käyttävät nelinapaisten suuntakontaktorien neljättä kosketinta rinnankytkettynä. Käytännössä toiseen suuntaan ajettaessa jarru avataan. Kytkenän lisäksi huomattavaa on, että siinä säästetään perinteisempänä ratkaisuna pidettävään kytkentään verrattuna komponenttien määrässä. Tässä perinteisenä ratkaisuna tarkoitetaan sähkösyöttönä suojakatkaisijan ja kontaktorin läpi syötettävää tasasuuntausta. Tämän lisäksi nostolaitesovelluksessa jarrun on toimittava nopeasti, joten se vaatii kuitenkin lisäksi vielä tasajännitepuolen katkaisun.

Valmistajista Okra ja Umbra ovat suunnitelleet perinteisemmän ratkaisun. Tosin valmistajan Okra jarrunohjauspiiri on monimutkaisempi. Kyseisessä ratkaisussa käyttöjännite otetaan ohjausjännitemuuntajasta. Jännite kulkee ennen tasasuuntaajaa suojakytkimen ja nostimen pääkontaktorin kautta omalle jarrunohjauskontaktorille, jolla katkotaan niin sisääntulojännite kuin tasasähköjännitekin. Umbran ratkaisussa jännite saadaan suoraan suuntakontaktorin jälkeen kahdesta vaiheesta, mutta se kierrätetään vielä oman suojakatkaisijan ja kontaktorin läpi. Kyseisessä suunnitteluratkaisussa tasasuunnattua jännitettä katkotaan vielä saman kontaktorin kahdella, sarjaan kytketyllä koskettimella katkaisun varmentamiseksi.

5.3.3 Radio-ohjain

Vertailussa olevat nosturimallit tai suunnitteluratkaisut olivat pääosin painikeohjainkäyttöisiä. Tästä johtuen voitiin vain pohtia, miten radio-ohjaus poikkeaa painikeohjauksesta ja minkälainen vaikutus sillä on toimintaan. Kuvasta 9 voidaan nähdä, kuinka paljon suhteellisin luvuin verrattuna radio-ohjaimien aiheuttamia vikaantumisia esiintyy. Nosturissa radio-ohjaus tuo käyttäjälle vapautta liikkua nosturin lähistöllä, mutta sähkösuunnittelussa se tarkoittaa lisää komponentteja ja elektroniikkaa.

RADIO-OHJAINVIAT (SUHTEELLISET)



Kuva 9. Radio-ohjaimien suhteelliset vikaantumiset valmistajittain.

Radio-ohjaus tuo käytännössä nosturiin kaksi osaa, vastaanottimen ja lähettimen. Vastaanotinyksikkö toimii painikeohjaimen tavoin, joka jatkaa ohjausjännitteen hallitusti kontaktoreille. Kun käyttäjä painaa lähettimen nappulaa, lähetin lähettää ohjaussignaalin vastaanottimelle. Ohjaussignaalin mukaisesti vastaanotin toteuttaa ohjauskäskyn releitä vetämällä. Käytännössä suuntakontaktorien aiheuttama jännitetransienttirasitus kohdistuu vastaanottimen releisiin ja voi myös johtaa sen häiriönä muuhun elektroniikkaan.

Radio-ohjaimella varustetuissa nostureissa voi olla myös kunnonvalvontayksikkö, jolloin tämänlainen ongelma siirtyy pois vastaanottimen releiltä. Useimmiten sellaisissa tapauksissa ohjauskäskyt menevät kunnonvalvontayksiköiden kautta ja siten radio-ohjaimen vastaanottimen avulla lähetetään ohjauspyyntöjä kunnonvalvontayksille, joka taasen ohjaa suuntakontaktoreita.

Kyt kentöjen osalta radio-ohjaus tuo kojekaapin yhteyteen radio-ohjaimen vastaanotinyksikön. Tällaiselle elektroniselle laitteelle on luotettavuus ja turvallisuus erityisen tärkeää, jotta nosturi ei liikkuisi hallitsemattomasti. Varsinkin radio-ohjauksessa olevan järjestelmän on oltava immuuni radioaalloilla liikkuvilla signaaleilla.

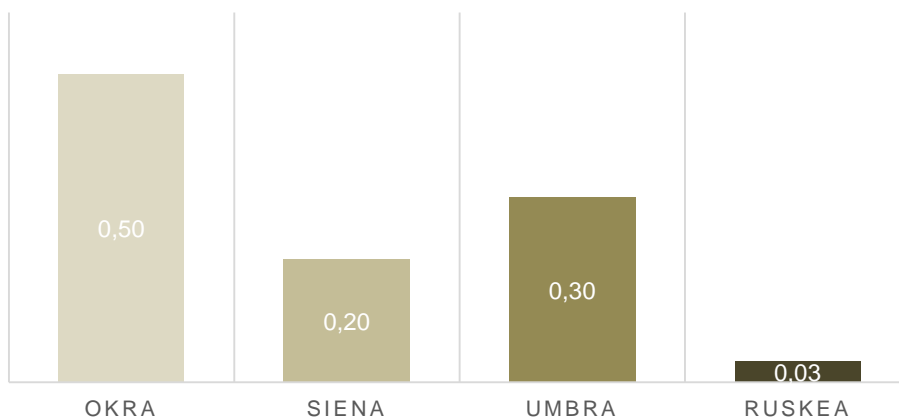
5.3.4 Painikeohjain

Painikeohjain on oleellinen osa nostimen ja koko nosturin ohjauksessa. Lisäksi, se on käyttäjän näkökulmasta tärkeä rajapinta nosturin suuntaan. Tästä johtuen pelkät painikeohjainviat muokkaavat käyttäjälle käsitystä koko nosturin luotettavuudesta tai jopa sen valmistajasta.

Tässä työssä painikeohjaimien täydellistä vertailua sähkösuunnittelun kannalta oli mahdotonta tehdä, koska painikeohjainkäyttöisestä nostimesta ei ollut tarpeeksi materiaalia tarkastelussa. Saatavilla olevista materiaaleista tutkimalla yritettiin luoda käsitys siitä, minkälaisia periaatteita sähkösuunnittelussa noudatetaan. Sähkösuunnittelun kannalta saattaa olla merkittävää kytkimien, kaapelin ja vedonpoistoratkaisun valinta. Kytkimien sähköinen mitoitus kuorman mukaan sekä mekaaninen kestävyys painikkeille ja kaapelille voisi olla tärkeimpiä asioita painikeohjaimiin liittyen.

Kuvassa 10 esitetään vertailukelpoisen huoltotiedon avulla tehdyt suhteelliset vikaantumiset painikeohjaimien osalta. Näissä suhteellisissa luvuissa on mukana myös vikoja, jotka eivät liity minkäänlaiseen sähköiseen vikaan. Vika voi olla täysin visuaalinen, kuten esimerkiksi painikkeen merkkikilven puuttuminen.

PAINIKEOHJAINVIAT (SUHTEELLISET)



Kuva 10. Suhteelliset painikeohjainviat valmistajittain.

Suunnitteluratkaisuja verrattaessa, kovinkaan merkittäviä eroavaisuuksia ei löytynyt. Erään valmistajan ohjausjännite on 230 V_{ac}, joka eroaa muiden ohjausjännitteestä. Pai-

nikeohjaimella ohjataan joko suoraan tai kunnonvalvontayksikön kautta moottorinohjauskontaktoreita. Suora moottorinohjauskontaktorin ohjaus painikeohjaimelta tarkoittaa käytännössä, että painikkeen koskettimeen kohdistuu rasitus kontaktorivedon aiheuttamasta transienttijännitteestä. Kunnonvalvontayksikön sisältävissä nostureissa ohjataan sen laitetuloja painikeohjaimen painikkeilla. Tällöin kontaktoreita ohjaavien releiden koskettimet kunnonvalvontayksikössä rasittuvat painikkeiden sijasta ja ongelmat liittyvät silloin kunnonvalvontayksikköön.

Kuten työssä aikaisemmin todettiin, voi liian pieni sähkövirta olla myös osatekijänä vikaantumisissa. Tämä johtuu käytännössä siitä, että pieni sähkövirta ei riitä läpäisemään esimerkiksi korroosion tai likaantumisen aiheuttamia pintoja koskettimilla. Tällaiset laitetuloihin kytkettävät ohjaukset eivät siis kokonaan auta välttämään vikaantumisia.

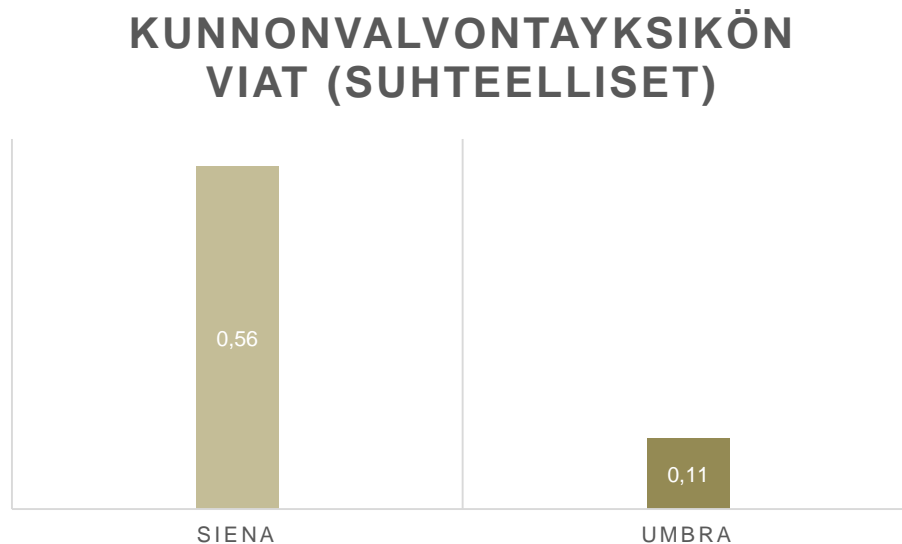
Valmistajan Okra käyttämät kytkimet ovat laadukkaana pidetyn valmistajan valmistamia ja ne on suunniteltu ohjauskäyttöön. Sienan käyttämistä komponenteista ei tutkimuksen kannalta tarvittavia tietoja löytynyt, mutta yleiskuvan perusteella ne on suunniteltu nosturikäyttöön.

Kytkeäntöihin liittyen vertailussa huomattiin, että peruseriaate on kaikilla sama. Painikeohjaimeen tuleva ohjausjännite jatkaa poikkeuksetta hätäseispainikkeen kautta muille painikkeille. Kytkimien koskettimet ohjaavat ohjausjännitteen suoraan painikeohjaimen lähteviin johtimiin muissa, paitsi Sienan ratkaisussa, jossa ristilukituskytkentä estää noston ja laskun samanaikaisen käytön. Muiden valmistajien painikeohjaimien kytkimissä on dokumentaation mukaan mekaaninen ristilukitus.

5.3.5 Kunnonvalvontayksiköt ja ylikuormasuojaus

Kunnonvalvonta voidaan toteuttaa elektronisella laitteella, joka tarkoittaa käytännössä yksinkertaista tietokonetta tai logiikkayksikköä. Kunnonvalvontayksikkö toimii usein ohjauslaitteena, jonka sisääntuloja ovat käyttäjän antamat ohjauskäskyt sekä erilaiset anturien ja rajakytkimien signaalit. Lähtöinä tällöin on vähintään kontaktoreita ohjaavat relälähdöt. Nosturin kunnonvalvonta voi olla myös huoltotarkastuksiin liittyvä ohjeistus ja tunti- tai muu laskuri. Ylikuormasuojana tutkimuksen perusteella käytetään moottorin virran- ja jännitteenmittausta, mutta myös kuorma-antureita. Ylikuormasuojauksen voi myös yksinkertaisemmin toteuttaa mekaanisilla menetelmillä ja mikrokytkimen avulla.

Työssä tutkittiin kunnonvalvontayksiköitä ja ylikuormasuojausta, mutta niiden vertailu jäi vähäiseksi, johtuen suunnitteludokumenttien rajoitteellisuudesta ja huoltotietojen määrästä. Huoltotietojen perusteella vain kahdella valmistajalla Siena ja Umbra, on kunnonvalvontayksiköt käytössä ja niiden suhteellinen vertailu on esitetty kuvassa 11. Käytännössä se tarkoittaa, että huoltosopimuksessa olevat nosturivalmistajat Okra ja Ruskea eivät sisällä kunnonvalvontayksiköitä.



Kuva 11. Kunnanvalvontayksiköihin liittyvien vikojen suhteellinen määrä.

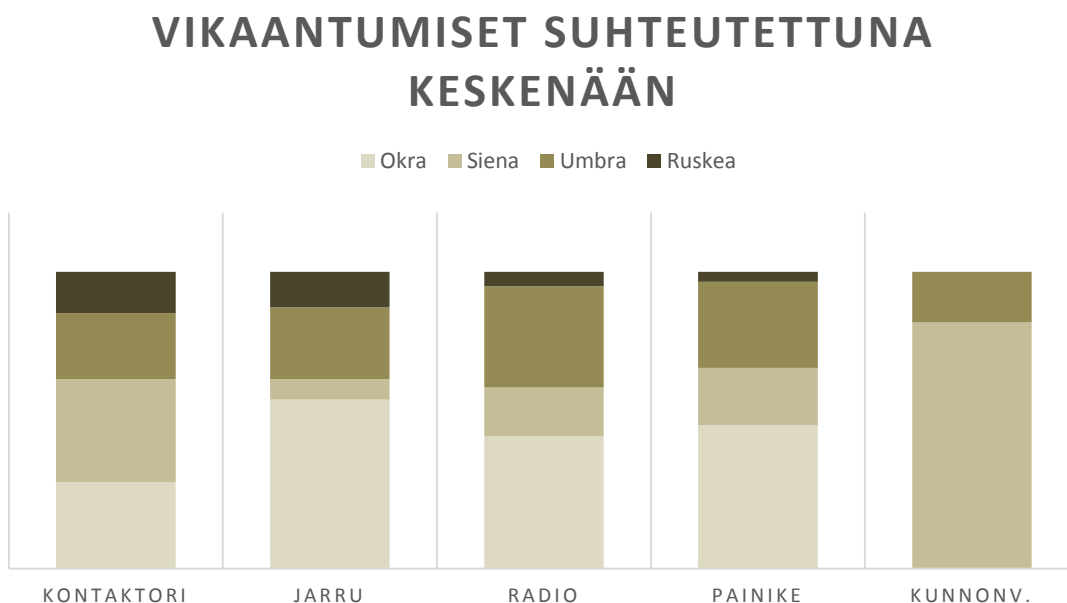
Tällaiset elektroniset laitteet, jotka sisältävät herkkiä komponentteja ovat pääasiassa alttiita muutamille rasisutustekijöille. Mainittavia rasisutustekijöitä voisi olla sähköiset häiriöt ympäristöstä riippuen, lämpötila tai värinä. Alttiudesta näille rasisutuksille ei sähkökuvista pääse selville. Kytchentöjä verrattaessa periaate on molemmissa sama. Kunnanvalvontayksikköön tuodaan anturien signaaleja ja radio- tai painikeohjaimen kytkimiltä ohjauskäskyt. Sisäistä elektroniikkaa ei pääse kerättyjen dokumenttien pohjalta tarkastelemaan, mutta tuloihin ja lähtöihin saattaa liittyä suojausmenetelmiä sähköisiä rasisutustekijöitä vastaan.

6 Tulokset

Tutkimuksen tuloksena saatiin käsitys erilaisten suunnitteluratkaisujen korrelaatiosta huoltotilastoihin. Luvun alussa on esitettyä komponenttien luotettavuudet valmistajittain ja pääpiirteet tutkimuksen löydöksistä. Alaluvussa 6.2 tarkastellaan tarkemmin eri vikamekanismeja ja siellä esiintyviin kuviin on havainnollistettu prosentuaalisesti, minkälaisiin vikamekanismeihin viat painottuvat valmistajittain.

6.1 Luotettavuus

Tutkimuksessa käytetty tilastollinen analyysi ja suhteelliset luvut osoittavat, kuinka luotettavia eri valmistajien komponentit ovat keskenään verrattuna. Kuvasta 12 selviää helposti, kuinka luotettavia komponentit tai suunnitteluratkaisut ovat kullakin valmistajalla. Pylväät ovat suhteutettu komponenteittain kaikkiin tarkastelussa olleisiin vikaantuneisiin komponentteihin.



Kuva 12. Valmistajien osuudet kaikista tutkituista komponenttien vikaantumisista.

Kontaktoreissa on melko tasainen jakauma eri valmistajien välillä. Kuvan 12 mukaan kontaktorien osalta valmistajista Umbra ja Ruskea ovat luotettavampia kuin valmistajat Okra ja Siena. Vertailussa jo todettiin, että Siena käyttää eri tyyppisiä kontaktoreita kuin

muut. Selitystä Okran kontaktorien vikaantumiseen ei suoranaisesti löydetty. Vähiten vikaantuvien valmistajien osalta vikaantumiset voivat johtua normaalista ja välttämättömästä kulumisesta ja huolto-ohjeiden noudattamisesta.

Tutkimuksen mukaan valmistaja Sienan jarrujen luotettavuus on paremmalla tasolla, kuin muiden. Vikamekanismeja tutkittaessa voitiin vain päätellä ohjaukseen liittyviä asioita, mutta tutkimuksessa kuitenkin pieniä eroja suunnitteluratkaisuissa löydettiin ja se itsessään on jo mielenkiintoinen löydös. Tutkimuksen perusteella jarrujen ohjaukseen liittyy asioita, joita olisi mielenkiintoista tutkia syvemmin.

Radio-ohjauksen vikamäärät olivat muita komponentteja suurempia, ja siten voidaan ajatella luotettavuuden olevan pienempi. Paras luotettavuus tutkimuksen perusteella on valmistaja Ruskealla, mutta absoluuttista totuutta ei mistään tutkimuksesta saada ja siihen vaikuttaa myös vahvasti otannan määrä. Tutkimuksen tulos osoittaa, että Okran radio-ohjaimissa on eniten vikaantumisia ja siten luotettavuus kärsii.

Painikeohjaimen osuudet ovat tutkimuksen mukaan jakautunut siten, että Ruskea näyttyy parhaimpana. Kuitenkaan tutkimuksen mukaan suunnitteluissa ei suuria eroja painikeohjauksen osalta ollut. Vikaantumisiin vaikuttaa varmasti nosturin käyttöolosuhteet ja onko nosturissa muuta ohjauselektroniikkaa. Osa vikaantumisista on kuitenkin mekaanisia rikkoontumisia.

Kunnonvalvontayksiköiden ja ylikuormasuojauksen vertailu oli vähäisempää, johtuen siitä, että tutkimuksessa olleissa laitteissa se oli vain kahdessa. Peruskyltentojen mukaan ne olivat hyvin samanlaisia, mutta tutkimuksen mukaan vikaherkempänä on Sienan kunnonvalvontayksikkö. Seuraavassa alaluvussa käsitellään tutkimuksessa olleiden komponenttien toteutuneita vikamekanismeja.

6.2 Vikamekanismit

Kontaktorien osalta vikamekanismi on tyypillisesti koskettimen kontaktin vaurio, kuten kuvassa 13 näkyy. Se viittaa kulumiseen erilaisten rasiustekijöiden vaikutuksesta. Tutkimuksen mukaan suurin ero löytyi siitä, että Siena käyttää kontaktorivalmistajan komponenttilehden mukaan väärällä kuormitusarvoilla olevaa kontaktoria oikosulkumoottori-

sovelluksessa. Tutkimus ei selvittänyt kuitenkaan, mikä koskettimista vahingoittuu. Kontaktorityypin ollessa erilainen käytti kyseinen valmistaja yhtä koskettimista myös jarrun-syötön tasajännitteen katkaisuun.



Kuva 13. Kontaktorien toteutuneet vikamekanismit tutkimuksen perusteella.

Kontaktorien vauriot kohdistuvat useimmiten koskettimiin. Kuitenkin huoltotiedoissa on myös selitetty viaksi muu syy ja hitsautuneet kontaktit. Muu syy voi käsittää erilaisia asioita, mutta todennäköisimmin kyseessä on vahingoittunut tai hitsautunut kosketin. Hitsautunut kontakti on seuraus vääränsuuruisesta virrasta koskettimen kontaktin materiaalille.

Jarrunohjauksessa vikamekanismit liittyvät tutkimuksen mukaan pääosin kulumiseen, kuten kuvassa 14 on havainnollistettu. Normaalin kulumisen lisäksi taustalla voi olla myös jarrunohjaus. Jarrua pyritään käyttämään pääosin pitämään paikallaan jo pysähtynyt roottorin akselia tai akselia. Aina se ei kuitenkaan onnistu, koska jarrun vetohetkellä akseli voi vielä pyöriä ja kuluttaa siten jarrupaloja.



Kuva 14. Jarruvikojen vikamekanismit.

Tutkimuksen suunnitteluvertailun mukaan suunnitteluratkaisuja oli erilaisia kaksi neljää toteutustapaa verrattaessa. Niiden vaikutusta ei voitu teoreettisella tutkimuksella selvittää, koska se vaatisi sähköisiä mittauksia. Optimaalinen jarrun kiinnivetohetki saavutetaan ohjauksella, ja tutkimus herätti jatkokysymyksiä siihen liittyen.

Sähkömekaanisen jarrun toiminnan kannalta tärkeä komponentti on jarrun avaukseen tarkoitettu kela, jolla jarrun avaava magneettikenttä saadaan luotua. [6.] Kelaan kohdistuvia vikoja on verrattain paljon. Se on mielenkiintoinen huomio, sillä se liittyy sähkösuunnitteluun tavalla tai toisella. Huoltodata ei anna vastausta tähän, joten lisätutkimusta tarvitaan kelan aiheuttamien vikojen vaikutuksen selvittämiseksi.

Radio-ohjauksen aiheuttamien vikaantumisten määrä oli tutkimuksessa suurin. Kuitenkin vikamekanismit ovat usein paljon käytännönläheisempiä, käytöstä johtuvia kulumisia. Kuvasta 15 nähdään, mihin vikamekanismiin huoltotietojen mukaan viat painottuvat. Suurin osa vikaantumisista on merkitty tyypillä ”muu”, josta ei varsinaisesti voida analysoida vikamekanismia.



Kuva 15. Radio-ohjaimien toteutuneita vikamekanismeja.

Selvempiä vikoja ovat kuvan 15 mukaan osoitetut sähköiset viat niin vastaanottimessa, kuin lähettimessäkin. Valmistajan Siena radio-ohjaimien vikaantumisen aiheuttamia huoltokäyntejä on merkitty tyypillä hyväksyttävä, eli todellista vikaa ei ole löytynyt. Suurin osa vikatilaston painotuksesta Sienalla on muihin valmistajiin nähden vastaanottimeen kohdistuvissa vioissa. Valmistajalla Umbra on huoltotiedoissa eniten raportoitu vikamekanismeja muu syy, mutta loput merkittävät vikamuodot jakaantuvat kohtalaisen tasaisesti sähköisiin ja painikevikoihin sekä hyväksyttävään eli käytännössä toimivan lisäksi.

Painikeohjaimet ovat sähköisesti yksinkertaisempia kuin radio-ohjaimet, ja siksi suurin osa vikamekanismeista on mekaanisia kulumisia. Painikeohjainvicioista saatujen huoltotietojen laajuus oli vaihtelevaa. Huoltotiedoissa valmistajan Ruskea vikatietoja oli vain vähän saatavilla tietokannassa ja sen vuoksi kuvassa 16 sen viivat erottuvat selkeästi. Huoltotiedon määrästä huolimatta tilasto vastaa hypoteesia painikeohjainvicioista, että vikamekanismit ovat mekaanisia kulumisia ja rikkoontumisia.



Kuva 16. Painikeohjaimien vikamekanismit.

Joissakin tapauksissa, kuten valmistajilla Okra, Siena ja Umbra, vikamekanismit on dokumentoitu sähkövioiksi. Näiden sähkövikojen määrä on kuitenkin muihin vikamuotoihin nähden prosentuaalisesti hyvin pientä, vain 2–6 %:n luokkaa. Yksityiskohtia vioista ei ollut saatavilla. Suurimmaksi osaksi vikaantumiset ovat mekaanisia kulumisia tai rikkoon-tumisia, jotka kohdistuvat painikkeisiin, painikekoteloon ja kaapeleihin. Varsinaisessa sähkökuvatarkastelussa niinkään merkittäviä eroavaisuuksia ei havaittu, mutta sähkösuunnittelun kannalta kaapelityypin valitseminen ja sen suojaaminen mekaanisilta ra-situksilta ovat tärkeässä osassa.

Kunnonvalvontayksiköiden yksityiskohtaisempi tarkastelu jäi tutkimuksen osalta vä-häiseksi, johtuen tiedon vähäisyydestä. Valmistajat eivät luonnollisestikaan jaa tarkkoja dokumentteja kyseisistä laitteista kilpailukyvyyn säilyttämiseksi. Kuitenkin kahden valmis-tajan kunnonvalvontayksiköistä löytyi huoltotietoja ja selitteitä vikamekanismien löyty-miseksi. Kuvassa 17 voidaan huomata, kuinka vikamekanismit jakaantuvat.



Kuva 17. Kunnonvalvontayksiköiden dokumentoidut vikamekanismit.

Prosentuaalisesti suurin osa ja selvimpiä dokumentoituja huoltokäyntejä ovat väärän asetuksen aiheuttamia. Tämä ei varsinaisesti ole laitevika, joskin se voi kertoa laitteen vaikeahkosta käytöstä tai toiminnoista.

Varsinaisia selväselitteisiä laitevikoja ovat tutkimuksen mukaan indikaattoreihin liittyvät vikaantumiset. Indikaattoreina kunnonvalvontayksiköissä ovat erilaiset led-lamput ja näyttökomponentit. Tarkempaa analyysia muista vioista tai toimimattomaksi dokumentoituja ei ole mahdollista tehdä tämän tutkimuksen materiaaleilla. Tämä kuitenkin ilmaisee huolen siitä, että laitevikoja esiintyy kyseisissä laitteissa ja on siten hyvä informaatio jo sellaisenaan valmistajille.

7 Yhteenveto

Opinnäytetyössä tutkittiin eri suunnitteluratkaisujen ja komponenttivalintojen vaikutusta nosturin luotettavuuteen. Tutkittavana oli neljän eri valmistajan suunnitteluratkaisut ja komponenttivalinnat nostimien osalta. Käytännössä tarkempaan tarkasteluun otettiin muutama mielenkiintoinen ja nostimen toiminnan kannalta tärkeä komponentti ja suunnitteluratkaisu. Nämä tutkittavaksi otetut alueet valikoitiin huoltotietojen ja erillisen tutkimuksen tilastoanalyysin perusteella. Tutkimuksen tavoitteena oli saada ymmärrys sähkösuunnittelun vaikutuksesta nosturin luotettavuuteen.

Tutkimuksen tuloksena löydettiin eroavaisuuksia eri valmistajien sähkösuunnitteluratkaisussa ja komponenttivalinnoissa. Tutkimuksen perusteella moottorinohjauskontaktoreiksi tulisi valita oikosulkumoottorin ohjaukseen suunniteltuja kontaktoreja resistiivisen ohjauksen kontaktorien sijaan paremman luotettavuuden varmistamiseksi. Sen lisäksi merkittävänä löytönä oli myös jarrunohjaukseen liittyvät suunnitteluratkaisut. Niiden syvempi tarkastelu vaatisi kuitenkin lisää tarkempia tutkimuksia.

Tämän lisäksi intressinä oli huoltotietojen perusteella saatujen vikamäärien, vikamekanismien ja sähkösuunnitteluratkaisujen yhteys keskenään. Tutkimuksen mukaan nämä löydökset suunnitteluratkaisuiden eroista ja tilastoista korreloivat keskenään. Vertailun aikana esiin tulleet huomiot saivat vastineen tuloksissa.

Työssä esiin nousseet näkökulmat ja tiedot ovat arvokasta tietoa kohdeyritykselle. Sovelletuna tutkimustuloksena saadut tiedot mahdollistavat arvokkaan kilpailuedun kohdeyritykselle haastavassa teollisuuden markkinakilpailussa.

Työn aikana esiin nousi kiinnostus jatkotutkimuksille. Tutkimus osoittaa, että sähkösuunnittelulla ja varsinkin komponenttivalinnoilla on suuri merkitys nosturin luotettavuuteen. Työn rajauksen vuoksi tutkittavana oli vain murto-osa nosturin sähkölaitteista. Tästä syystä tulevaisuudessa tullaan tekemään vastaavanlaisia jatkotutkimuksia huoltotiedon perusteella vikaantuvista komponenteista.

Työn voisin kiteyttää seuraavasti: ”Sähkösuunnittelun merkitys on suuri kaikenlaisten sähkökomponentteja sisältävien laitteiden tekemisessä. Vaikka se onkin kohtalaisen selvä asia, siitä huolimatta tutkimuksen perusteella ei ole yhtä oikeaa tapaa tehdä laitetta, mutta on kuitenkin toinen toistaan parempia ratkaisuja”.

Lähteet

- 1 Konepajayrityksen sisäinen materiaali. 2016.
- 2 Konepajayrityksen sisäinen materiaali. 2010.
- 3 Konepajayrityksen sisäinen materiaali. 2017.
- 4 Kananen, Jorma. 2014. Laadullinen tutkimus opinnäytetyönä. Jyväskylä: JAMK
- 5 Valtioneuvoston päätös 1403/1993.
- 6 Asiantuntijahaastattelu. 23.1.2017.
- 7 O'Connor, Patrick .D.T. & Kleyner, Andre. 2013. Practical reliability engineering. United Kingdom: Wiley.
- 8 Suomen standardisoimisliitto SFS ry. 2009. SFS-Käsikirja 135-2 Koneiden sähkölaitteistot ja -järjestelmät Osa 2: Nostokoneet. Helsinki: SFS.
- 9 Siirilä, Tapio & Pahkala, Jorma. 1999. EU-määräysten mukainen koneiden turvallisuus. Helsinki: Fimtekno Oy.
- 10 Mitä standardisointi on? 2017. Verkkodokumentti. SFS.
<https://www.sfs.fi/standardien_laadinta/mita_standardisointi_on>. 2.2.2017.
- 11 Siirilä, Tapio. 2008. Koneturvallisuus EU:n direktiivien ja standardien soveltaminen käytännössä. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy.
- 12 Koneasetus 400/2008.
- 13 Siirilä, Tapio. 2009. Koneturvallisuus Ohjausjärjestelmät ja turvalaitteet. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy.
- 14 Hienonen, Risto & Lahtinen, Reima. 2000. Korroosio ja ilmastolliset vaikutukset elektroniikassa. VTT ja Otamedia Oy. Espoo.